



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
(IICBA)**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
(CIICAp)**

**Análisis de sensibilidad de tecnologías limpias en la
evaluación de consumos energéticos para dar cumplimiento
a las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad
del Aire**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA

NOMBRE DEL SUSTENTANTE: Ing. Yaratzed Aguilar Ayora

DIRECTOR: Dr. Rosenberg J. Romero Domínguez

CODIRECTOR: Dr. Antonio Rodríguez Martínez

**NOMBRE DE LOS SINODALES: Dra. Gabriela Hernández Luna, Dra. Helena Cabal
Cuesta y Dr. Jesús Cerezo Román.**

CUERNAVACA, MOR.

MAYO, 2019.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



RESUMEN

Actualmente, el Sistema Eléctrico Mexicano (SEM) se encuentra en un proceso de transición energética en el cual se deben analizar escenarios de desarrollo y crecimiento con base en el uso de las energías limpias y así cumplir con los objetivos establecidos en los instrumentos de planeación de la política pública de cambio climático, con los que cuenta actualmente la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y entre los cuales se encuentran la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC, 2013) y la Estrategia Nacional de Calidad de Aire (ENCA, 2017). Dichas estrategias están alineadas para cumplir con los compromisos internacionales adquiridos por México. La Ley de Transición Energética, propone alcanzar el 35% de la generación eléctrica proveniente de fuentes limpias al año 2024 y un 50% al año 2050. Respecto al plano ambiental asume el compromiso de reducir un 30% de la emisión de GEI respecto a la línea base en 2020 y un 50% al año 2050, respecto a las emisiones generadas en el año 2000.

Por ello, en el presente trabajo se analizó y evaluó escenarios de crecimiento del SEM, considerando los objetivos específicos de la ENCC y la ENCA al año 2050. Ambas estrategias proponen transitar hacia procesos productivos amigables con el medio ambiente y en el caso de la generación de energía eléctrica aumentar el uso de la energía renovable y del uso de tecnologías más eficientes.

Dichas estrategias se implementan en un análisis de sensibilidad usando un Modelo de Optimización Energética, basado en el software *General Algebraic Modeling System* (GAMS). Se recopiló información del SEM, se analizó y armonizó la ENCC y ENCA acorde a su estructura, metas energéticas y de disminución de emisiones. Se hace énfasis en el Pilar 1 de (ENCC) y Eje 3



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



(ENCA) aplicado al SEM y así analizar escenarios al año 2020, 2024, 2030 y 2050 que incidan en las *ENCC* y *ENCA*. Con base a los potenciales probados de recursos renovables en México se formularon escenarios de crecimiento del SEM, y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) reportadas por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), del año 2000 al 2015, analizando los esfuerzos de mitigación logrados.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



ABSTRACT

Actually, the Mexican Electrical System (MES) is in a process of energy transition in which development and growth scenarios must be analyzed based on the use of clean energies and thus meet the objectives established in the planning instruments of the public policy of climate change, which currently has the General Law of Climate Change (GLCC) and among which are the National Climate Change Strategy (NCCS, 2013) and the National Air Quality Strategy (NAQS, 2107). These strategies are aligned to comply with the international commitments acquired by Mexico. The Law of Energy Transition for its part proposes to achieve 35% of electricity generation from clean sources by 2024 and 50% by 2050. Regarding the environmental plan, it undertakes to reduce by 30% the emission of GHG with respect to the line base in 2020 and 50% in 2050, with respect to the emissions generated in the year 2000. In the present work the growth scenarios of the Mexican Power System (MPS) are analyzed and evaluated, considering the specific objectives of the NCCS, and the NAQS, to the year 2050 and whose scope converges in promoting the generation of electricity by clean sources. Both strategies are implemented in a sensitivity analysis based on an Energy Optimization Model (EOM), the information from the SEM, the analysis of the NCCS and NAQS and scenarios to the year 2020, 2024, 2030 and 2050, which theoretically affect common objectives of both strategies. The NCCS and NAQS were harmonized according to their structure, energy goals and emissions reduction, specifically Pillar 1 (NCCS) and Axis 3 (NAQS), applied to the MPS. Based on the proven potential of renewable resources in Mexico, MPS growth scenarios were formulated, the Greenhouse Gases (GHG) emissions reported by the National Inventory of Greenhouse Gases, from 2000 to 2015, by analyzing the efforts of mitigation achieved.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



AGRADECIMIENTOS

Al **CONACYT** y a la **Secretaría de Energía (SENER)** por el apoyo económico brindado para poder realizar el presente trabajo.

A la Red Temática CONACYT de Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad (Red SUMAS), por todo el apoyo recibido.

Al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) por permitirme realizar mis estudios de Maestría en sus instalaciones.

Al Dr. Rosenberg Javier Romero Domínguez por su dirección, paciencia y tiempo dedicado a fortalecer mi formación profesional.

Al Dr. Antonio Rodríguez Martínez por toda su orientación, motivación y el apoyo brindado.

A Dra. Gabriela Hernández Luna, quien a lo largo de estos dos años siempre estuvo brindándome todo su apoyo para poder desarrollar el presente trabajo, además de su amistad tan enriquecedora.

Al Honorable comité evaluador: Dr. Antonio Rodríguez Martínez, Dra. Gabriela Hernández Luna, Dra. Helena Cabal Cuesta y Dr. Jesús Cerezo Román por su tiempo y comentarios acertados para mejorar el presente trabajo.

Al Ing. Alejandro Martínez Vélez por el apoyo brindado.

A Isabel y Jazmín por soportarme estos dos años, aunque sé que las hacía muy feliz.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



DEDICATORIAS

A mis Padres

Deseo expresarles que mis ideales, esfuerzos y logros, han sido también suyos e inspirados en ustedes y constituyen el legado más grande que pudiera recibir.

A mi Esposo

Por su paciencia y apoyo incondicional que me brindaste en todo momento para culminar una de mis mas grandes metas.

A mis Hijos

Por permitirme robarles mucho del tiempo en el que estuviera con ustedes.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación a los largo de estos años.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	12
1. 1 Introducción	12
1. 1. 1 El Sector Energético en México y el Cambio Climático	14
1. 1. 2 Participación de las Energías Limpias en el Sector Eléctrico.	16
1. 2 Antecedentes bibliográficos	20
1. 3 Justificación	25
1. 4 Alcance	26
1. 5 Hipótesis	27
1. 6 Objetivo General.....	27
1. 6. 1 Objetivos Particulares.....	27
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	29
2. 1 Compromisos de emisiones de GEI.....	29
2. 2 iNDCs del Sector eléctrico.	31
2. 3 Metas de inclusión de las Energías Limpias en el SEM.	32
2. 4 Instrumentos de planeación para mitigar las emisiones de GEI.....	33
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	35
3.1 Recopilación de información del SEM.	35
3.2 Análisis de la ENCC y ENCA, considerando su estructura, metas y sectores.	35
3.3 Implementación en un Modelo de Optimización Energética (MOE), incorporando restricciones y parámetros.	36
3. 3. 1 Modelos poblacionales.....	36
3. 3. 2 Base de datos de centrales de generación eléctrica.....	38
3. 3. 3 Generación eléctrica de Comisión Federal de Electricidad y Productores Independientes de Energía (PIE´s).	38
3. 3. 4 Consumos energéticos per cápita.....	38
3. 4 Estimación de variación de las capacidades de generación mediante tecnologías limpias haciendo uso de un Modelo de Optimización Energética (MOE).....	39



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



3. 5 Propuesta de escenarios al año 2020, 2024, 2030 y 2050.	40
3. 6 Análisis y propuesta de escenarios que cumplan con los objetivos de la ENCC y ENCA.....	40
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	44
4. 1 Análisis de ENCC y ENCA.....	44
4. 2 Asignación de tecnologías de generación eléctrica.....	47
4. 3 Modalidad de generación utilizada.	48
4. 5 Análisis de modelos poblacionales.....	50
4. 6 Eficiencias de conversión energética.....	50
4. 8 Demanda eléctrica en México al año 2050.....	53
4. 9 Escenarios proyectados para cubrir la demanda eléctrica.....	54
4. 9. 1 Modelo: CONAPO.....	54
4. 9. 2 Modelo: HVF.....	55
4. 10 Esfuerzos de mitigación.	57
4. 11 Número de centrales.....	60
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5. 1 Conclusiones.....	62
5. 2 Recomendaciones.....	63
REFERENCIAS.....	64
APÉNDICES.....	72
Apéndice A Listado de centrales de generación eléctrica.....	72
Apéndice B Inclusiones al MOE.....	79
ANEXOS.....	87
Anexo 1 Participación en congresos.....	87
Anexo 2 Cursos.....	96
Anexo 3 Redes temáticas de CONACyT.....	100



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Limitaciones de información en el sector transporte	30
Tabla 2. Indicadores demográficos al año 2050.....	37
Tabla 3. Indicador demográfico al año 2050	37
Tabla 4. Enfoque puntual de ENCC y ENCA.....	45
Tabla 5. Armonización de objetivos ENCC y ENCA.....	46
Tabla 6. Listado de tecnologías de generación.	47



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones de GEI a nivel mundial.	13
Figura 2. Emisiones de GEI por Sector.....	15
Figura 3. Emisiones de GEI por Categoría.	16
Figura 4. Potencial estimado de Recursos Renovables en México.....	17
Figura 5. Generación de energía eléctrica por fuente.	18
Figura 6. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica y el PIB	19
Figura 7. iNDCs por Sectores.	29
Figura 8. iNDCs del Sector eléctrico	31
Figura 9. Porcentajes de participación de energía limpia.	32
Figura 10. Condiciones energéticas	41
Figura 11. Metas de mitigación de GEI, Sector eléctrico.	42
Figura 12. Diagrama de flujo de ejecución de MOE en GAMS.	43
Figura 13. Traslape ENCC y ENCA.....	44
Figura 14. Generación eléctrica por tipo de tecnología	48
Figura 15. Participación de CFE y PIE´s en la Capacidad Instalada	49
Figura 16. Aportación CFE y PIE´s en la generación eléctrica.	49
Figura 17. Crecimiento poblacional en México.....	50
Figura 18. Eficiencia de generación eléctrica, por tipo de tecnología en función del tiempo	51
Figura 19. Factor de emisión energías convencionales y limpias, en operación.	52
Figura 20. Demanda de energía eléctrica esperada.....	53
Figura 21. Generación eléctrica al año 2050 (CONAPO 2MWh/per cápita), por tipo de tecnología.....	54
Figura 22. Generación eléctrica al año 2050 (CONAPO 4MWh/per cápita), por tipo de tecnología.....	55
Figura 23. Generación eléctrica al año 2050 (HVF 2MWh/per cápita), por tipo de tecnología.	56
Figura 24. Generación eléctrica al año 2050 (HVF 4MWh/per cápita), por tipo de tecnología.	57
Figura 25. Línea base de emisiones de GEI_Sector Eléctrico.	57



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Figura 26. Esfuerzos de Mitigaciones de GEI al año 2050.....	58
Figura 27. Esfuerzos de mitigación y participación por tipo de tecnología, modelo CONAPO 2MWh/per cápita.	59
Figura 28. Esfuerzos de mitigación y participación por tipo de tecnología, modelo CONAPO 4 MWh/per cápita.	59
Figura 29. Número de centrales: Fuentes limpias.....	61
Figura 30. Número de centrales: Fuentes fósiles	61



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1. 1 Introducción

Actualmente la sociedad enfrenta uno de los mayores retos en la historia, el desarrollo global, el cual ha orillado al planeta a un proceso de desarrollo económico y social nunca antes visto (Vijaya Venkata Raman, S., S. Iniyar, 2012). Lo anterior ocasionando afectaciones al medio ambiente que nos rodea e impactando de manera directa al clima, dando origen así al proceso del cambio climático.

El cambio climático, de acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2012), ha provocado que la temperatura del planeta aumente en los últimos 50 años, identificando a las actividades humanas uno de los factores causantes, entre las cuales destaca principalmente la deforestación y la quema de combustibles fósiles debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)(IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (EIA por sus siglas en inglés), durante el año 2016 a nivel mundial los países más desarrollados fueron los grandes contribuyentes en la emisión de GEI, proveniente de la combustión del combustible fósil. Algunos de los países que contribuyeron significativamente en dichas emisiones fueron: India (6%), Canadá (2%), Brasil (1%) y México (1%).

En el caso particular de México las emisiones son menores a las de India



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

(cuarto lugar a nivel mundial) y Canadá (octavo lugar a nivel mundial) sin embargo, respecto a América Latina son superiores a las de Brasil o Chile (International Energy Agency, 2016), como se puede ver en la Figura 1.

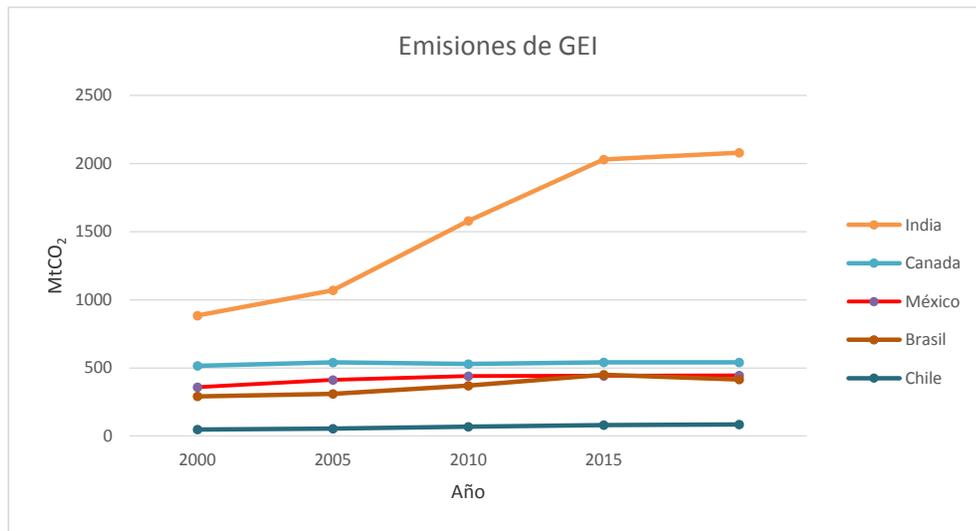


Figura 1. Emisiones de GEI a nivel mundial.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de la EIA.

Ante este panorama, varios países se comprometieron a reducir significativamente sus emisiones de GEI presentando su Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (iNDC, por sus siglas en inglés) (International Partnership on Mitigation and MRV., 2014). Las iNDCs hacen referencia a las emisiones evitadas de GEI que cada país definió como posibles de comprometerse a cumplir incluyendo México.

Nuestro país se ha comprometido ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) a finales del año 2010 a limitar sus emisiones en un monto de 762 millones de toneladas de GEI expresados como toneladas equivalentes de bióxido de carbono para el año 2030 (MtCO₂eq) (SEMARNAT, 2015a), es decir reducir un 30 % para el año 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



y un 50 % al año 2050 respecto los valores del año 2000. Dicho límite tiene como punto de partida una escala de referencia denominada Línea Base (L.B.) (Bazán G., & Ortíz G., 2012) que es una estimación, del monto de las emisiones que tendríamos para el 2030 si no se hiciera un cambio significativo en el país, es decir el Escenario *Business as Usual* (BaU). Dichos compromisos de disminución de GEI son de carácter incondicional, es decir, el país se compromete a cumplirlo sin pretextos de por medio (Gallardo, A. H., Gallardo, R. L. H., Torres, Y. S., & López, Á. J. L., 2017).

México, para promover el desarrollo sostenible, ha decidido incluir dichos objetivos dentro de la planificación y la formulación de políticas energéticas (UNAM, 2016), ya que el sector energético, de acuerdo a datos obtenidos del Inventario Nacional de Emisiones de gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) durante el año 2015, ha representado gran parte de las emisiones.

1. 1. 1 El Sector Energético en México y el Cambio Climático

Durante el año 2015 el Sector Energético participó con un 70% de las emisiones totales nacionales de GEI, bajo ese contexto cualquier esfuerzo para reducir las emisiones y mitigar el cambio climático debe incluir a dicho sector (SEMARNAT, 2015b), ver Figura 2.

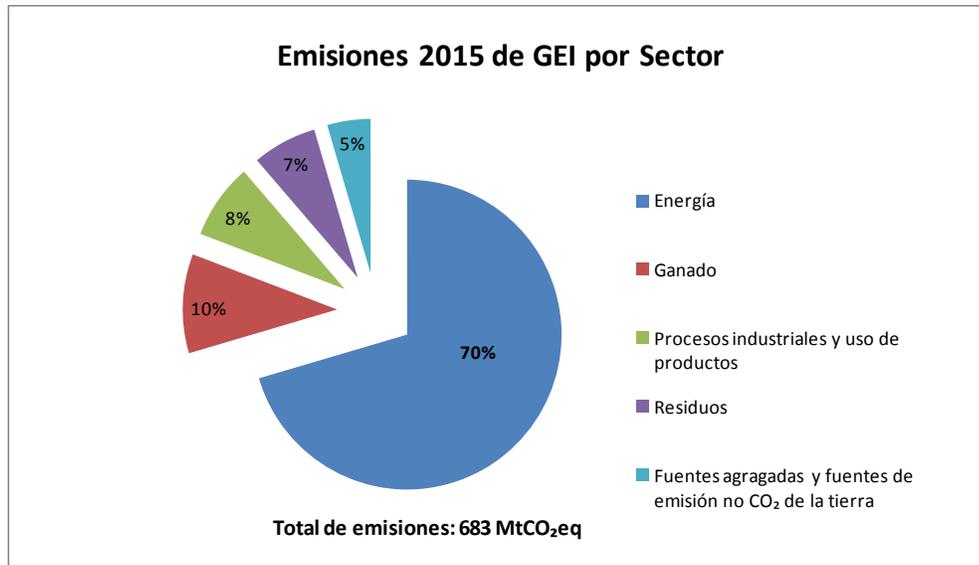


Figura 2. Emisiones de GEI por Sector.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI, 2015.

A su vez el Sector Energético cuenta con 6 categorías o sectores emisores de GEI y que, de acuerdo a datos de INEGYCEI durante el año 2015, participaron en la emisión de GEI como se muestra en la Figura 3.

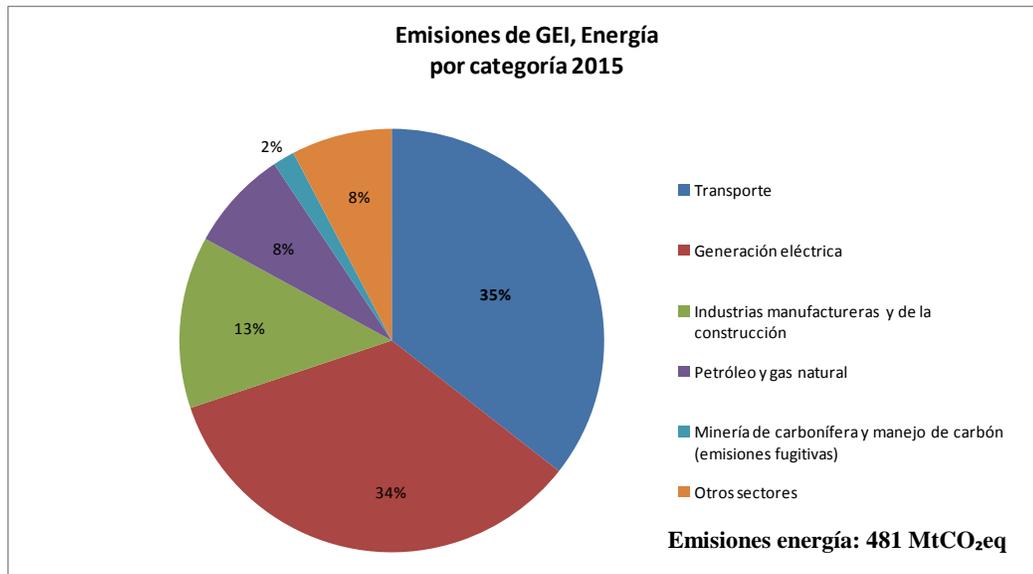


Figura 3. Emisiones de GEI por Categoría.
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI, 2015.

1. 1. 2 Participación de las Energías Limpias en el Sector Eléctrico.

En los últimos años la generación del Sistema Eléctrico Mexicano (SEM) continúa siendo altamente dependiente de combustibles fósiles, a pesar de la gran riqueza de recursos naturales con los que cuenta México. Actualmente y con base en la Prospectiva de Energías Renovables 2016- 2030, solo se aprovecha una pequeña parte del potencial estimado de recursos naturales en la generación eléctrica del país (Secretaría de Energía, 2016), como se muestra en la Figura 4.

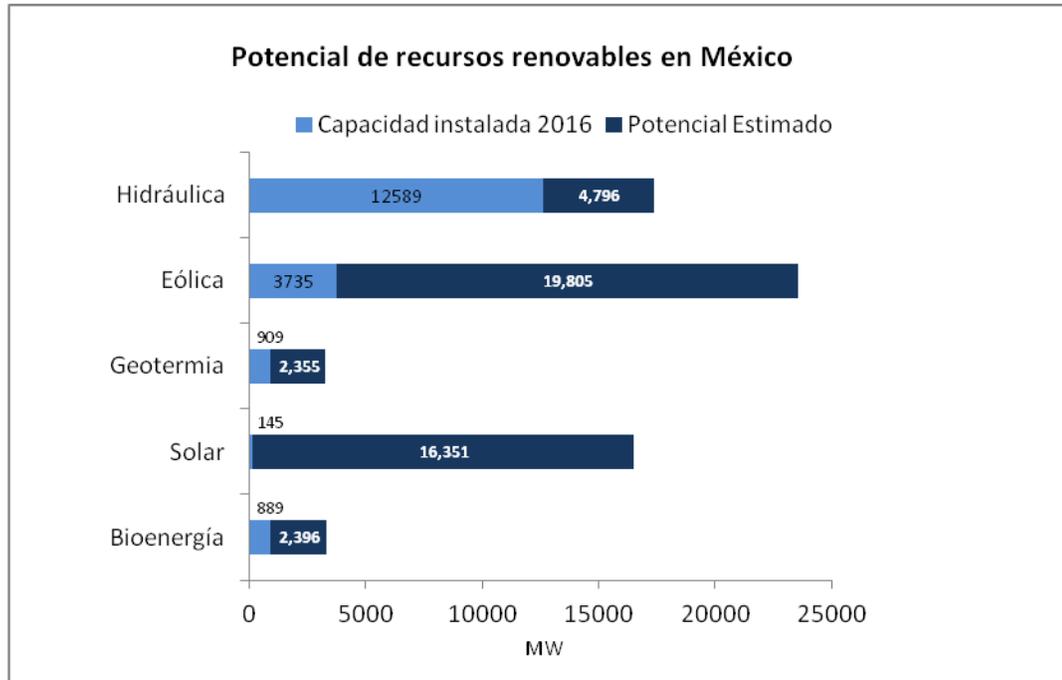


Figura 4. Potencial estimado de Recursos Renovables en México.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de SENER y Prospectivas de Energías Renovables 2016-2030.

Así mismo, en la Figura 5 se observa la evolución de la participación que ha tenido cada una de las fuentes de energía (fósil y limpia) dentro del SEM del año 2000 al 2016, de acuerdo a datos tomados del Sistema de Información Energética (SIE, 2017).

Durante el año 2016, la participación de las energías limpias en la generación eléctrica total del SEM fue tan solo del 18.3%

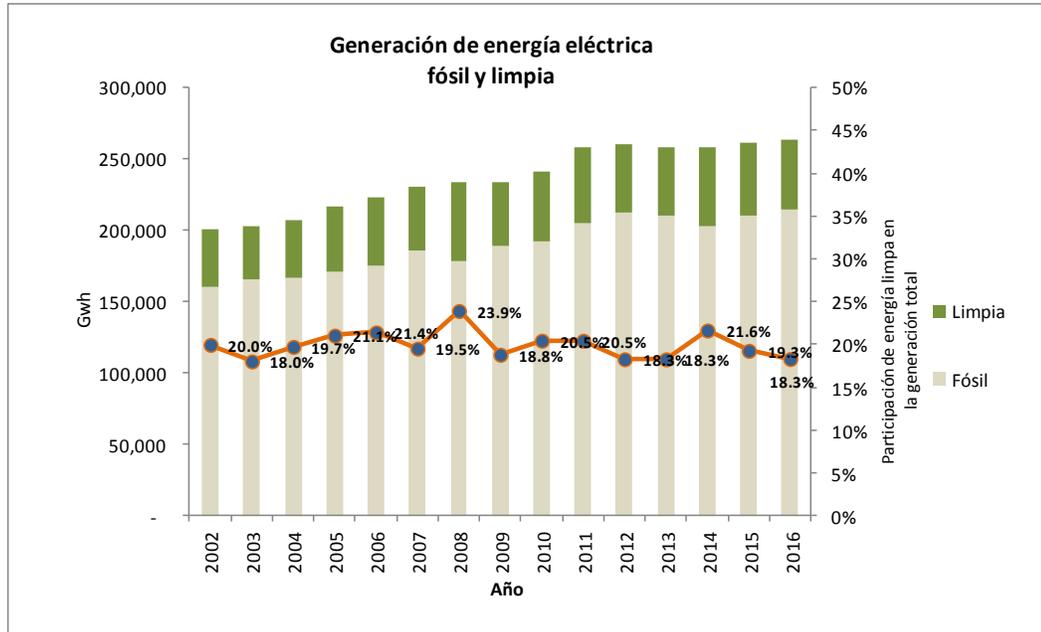


Figura 5. Generación de energía eléctrica por fuente.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIE, CFE y SENER.

Cabe señalar que las fuentes potenciales de energías limpias podrían ampliarse (IRENA, 2015), para así apoyar la creciente demanda de energía eléctrica de los últimos años. Esta demanda ha presentado un ritmo de crecimiento incluso mayor que el crecimiento económico del país (PIB), ver Figura 6, y es probable que continúe con dicha tendencia, por lo que satisfacer la demanda a futuro generará un incremento en las emisiones totales de GEI en un 230% durante el periodo comprendido entre los años 2008 y 2030 (Johnson, T. M., Alatorre, C., Romo, Z., & Liu, F., 2010).

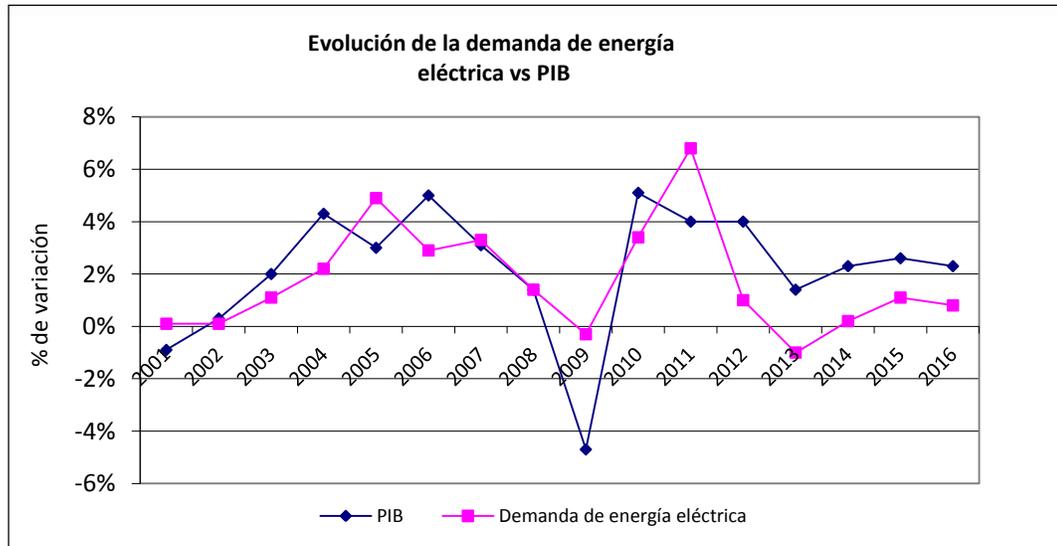


Figura 6. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica y el PIB

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de INEGI, CFE y SENER.

Entre los factores que causan la creciente demanda de energía eléctrica se encuentra: el constante incremento de la población, el crecimiento económico y el aumento en la temperatura (European Climate Foundation, 2014).

Bajo este contexto podemos expresar la gran incertidumbre generada dentro del sector eléctrico, debido a lograr una mayor penetración de las energías limpias en la matriz energética del país y a su vez abastecer la demanda de energía eléctrica futura a toda la población, sin dejar de lado los compromisos de mitigación de GEI adquiridos a nivel internacional y el impacto que generará en la salud de la población en general.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



1. 2 Antecedentes bibliográficos

Bajo este contexto, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de trabajos previos que contribuyeron en el desarrollo del presente estudio.

Por su parte, (Manzini F., Islas J., 2001) realizaron una evaluación de la emisión generada de GEI considerando factores de intensidad del medio ambiente y energía bajo tres escenarios con diferente tipo de combustible (derivados de petróleo, gas natural e hidrógeno renovable) desde un punto de vista técnico y económico.

Posteriormente, (Islas J., Manzini F., 2003) proponen, bajo tres escenarios: base, oficial y de transición considerando la incorporación de energía renovable obteniendo como resultado gran viabilidad cuando se considera el cambio tecnológico. Lo anterior sujeto a un análisis de costo-beneficio.

Ahora bien, (Börjeson L., Höjer M., Dreborg K. H., Ekvall T., & Finnveden, 2006) discuten la aplicabilidad de varias técnicas de generación, integración y consistencia para desarrollar escenarios que proporcionen el conocimiento requerido y el cumplimiento de objetivos, así como el desarrollar y utilizar los escenarios obtenidos.

Por un lado, (Resch *et al.*, 2008) presentan un panorama general de los potenciales y prospectivas de las Energías Renovables (ER) a nivel mundial, pero con base en evaluaciones regionales y / o específicas de cada país en el marco de la política energética.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



En cambio, (Ockwell, D. G., Watson, J., McKerron, G., Pal, P., & Yamin, 2008) sugieren una necesidad de investigación sobre la transferencia de tecnología baja en carbono, que surge como resultado del estudio entre el Reino Unido y la India.

Basado en una extensión del modelo de sustitución Fisher-Pry, (Devezas, T., LePoire, D., Matias, J. C., & Silva, 2008) explican los cambios históricos observados en el uso de energía primaria de fuentes de madera, carbón, petróleo, gas natural y nuclear. Este estudio fue realizado a mediados de la década de 1980, mediante el uso de un método para estimar la energía ahorrada al aumentar la eficiencia e identificar indicadores de futuros escenarios.

Ahora bien, (Johnson *et al.*, 2009) realizan una evaluación del potencial para reducir las GEI en México durante un periodo de 20 años, a través de una metodología común respecto de las intervenciones para reducir las emisiones de carbono en los sectores clave y propone un escenario de disminución al año 2030.

Más tarde, (Söderholm, P., Hildingsson, R., Johansson, B., Khan, J., & Wilhelmsson, 2011) realizan un análisis retrospectivo a escenarios basados en instrumentos de políticas uniformes, descuidando el papel del cambio institucional en el logro de diferentes futuros de energía y resaltan la importancia del apoyo de estrategias para lograr integrar temas de gobernanza de transición en escenarios futuros.

Así mismo, (Botello, D. C., 2012) evalúa dos opciones de mitigación de GEI en el Sector Eléctrico Mexicano. Uno empleando energía nuclear y



combustibles fósiles con tecnologías que incorporan sistemas de captura y almacenamiento de CO₂, y en otro emplea fuentes renovables de energía. En este estudio se logra identificar que los esfuerzos de mitigación no son suficientes dentro del SEM ya que las emisiones de GEI que se obtienen van en aumento hacia años futuros.

Por el contrario, (Islas Samperio & Grande Acosta, 2013) analiza el fomento del uso de las ER en el sector eléctrico, como resultado de implementar políticas públicas durante el proceso de transición energética, bajo un contexto mundial y nacional, proponiendo una participación de ER del 57% al año 2030, concluyendo que la política pública es viable para la incorporación las ER.

Así pues, el Banco Interamericano (Campos, B., Díaz, M., & Clerc, J., 2013) desarrolla una metodología para poder elaborar curvas de abatimiento de GEI enfocados a la demanda energética, en cuyo caso incorpora variables económicas para conocer incertidumbres de los costos marginales.

Por su parte (Instituto Mexicano para la Competitividad A. C., 2013) mediante el informe muestra un panorama del sector de hidrocarburos, así como los cambios que ha tenido el mapa energético a nivel mundial e identifica a América del Norte como la región de mayor potencial y además comenta que México siendo principal vecino puede verse afectado en el ámbito ambiental o beneficiado en el caso de contar con recursos adicionales.

Posteriormente, (Sandoval García, E. R., 2013) identifica al sector de generación eléctrica como uno de los motores que impulsa la economía del país, así mismo realiza una proyección de demanda futura de energía eléctrica haciendo uso de la Ecuación de Kaya.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Por otra parte, (Ruiz Nápoles, P., 2014) define las políticas de mitigación de Cambio climático como las causantes de la reducción o absorción de GEI y considera que se deben identificar acorde al sector que se desea enfocar, bajo un modelo insumo-producto, también destaca la importancia del uso de tecnologías las eficientes en pro del beneficio ambiental bajo distintos escenarios de crecimiento económico.

Sin embargo, (Ramírez, A., 2014) identifica a la Reforma Energética como la precursora en el uso de la energía limpia durante la generación de electricidad y describe que actualmente existe tecnología suficiente y adecuada para la incorporación de dicha energía proveniente de fuentes renovables.

Bajo dicho contexto, (Santoyo-Castelazo & Azapagic, 2014) realizan una evaluación del Sistema Eléctrico mediante la metodología de Análisis de ciclo de vida al año 2050 su impacto en el cambio climático y demuestra que bajo la base de 17 criterios de sostenibilidad el escenario basado en combustibles fósiles es insostenible.

No obstante, (Vidal-Amaro, Østergaard, & Sheinbaum-Pardo, 2015) proponen dos tipos de metodologías para optimizar el mix energético dentro del SEM, una de ellas enfocada a objetivos económicos y otra en objetivos tecno –operativos, para la integración de las energías renovables.

Más tarde, Vazquez (Vázquez, A. L., 2015) dentro de su analisis reconoce que a futuro la energía convencional pasará por momentos difíciles debido a la disminución de reservas pero ve una gran viabilidad de México en el uso



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



de energías renovables debido a que el país cuenta con una gran cantidad de recursos naturales.

Por consiguiente, (Pang R. Z., Deng, Z. Q. & Hu, J. L., 2015) analizan el efecto de la eficiencia energética de la energía limpia y su relación con la producción económica a nivel mundial, así mismo identifica el aumento en el consumo de energía como una ineficiencia energética y reconoce que los países europeos tienen mayor eficiencia integral en crecimiento económico, conservación de energía y reducción de emisiones.

No obstante, (Tovilla, J., Buirra, D., Barthélemy, P., & Spinazzé, 2015) evalúan alternativas de revertir las tendencias actuales de energía y emisiones del país debido al desacuerdo en sus tendencias recientes y en el logro de sus objetivos de mitigación, haciendo uso de modelos económicos involucrados en el proyecto CLIMACAP-LAMP e incidiendo en la necesidad de descarbonizar el sector eléctrico. Así mismo sugiere que los costos de la mitigación profunda en toda la economía podrían oscilar entre el 2% y el 4% del PIB en 2030, y entre el 7% y el 15% del PIB en 2050.

Por otra parte, (CONUEE, 2016) identifica limitaciones de información disponible dentro del sector transporte en la determinación de su desarrollo energético futuro, que impactaría directamente en la toma de decisiones.

Más tarde, Oswald (Oswald, U., 2017) propone mediante su estudio que la crisis de los precios actuales de los hidrocarburos abre a México la posibilidad de hacer crecer las energías renovables ya que posee recursos naturales. Así mismo pone en contraste que la seguridad energética del país está basada en hidrocarburos fósiles y pretende cumplir con los



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



compromisos internacionales produciendo energía limpia.

Así mismo, la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2015) identifica una gran oportunidad de descarbonizar en el crecimiento en la demanda de electricidad, impulsada por los incentivos incluidos en las políticas y la acelerada caída de los costos de las energías renovables.

Más tarde, (Pérez-Denicia, Fernández-Luqueño, Vilariño-Ayala, Manuel Montaña-Zetina, & Alfonso Maldonado-López, 2017) realizan una revisión del estado actual de proyectos que involucran energías renovables para la generación de energía eléctrica y el impacto de dichas tecnologías en el ámbito social y ambiental, así como la penetración de los PIE en la generación total del país.

Por su parte (Elizondo, Pérez-Cirera, Strapasson, Fernández, & Cruz-Cano, 2017) realizan una evaluación para la Planificación Energética y la Mitigación del cambio climático haciendo uso de un modelo que combina los principales sectores de la economía del país dando como resultado diversos escenarios con bajas emisiones de carbono al año 2050, considerando únicamente el tema de pérdidas de energía en lo correspondiente sector eléctrico.

1. 3 Justificación

Actualmente el sector eléctrico en México es la pieza más cierta que tiene el país para cumplir con sus compromisos de mitigación de emisiones de GEI (International Partnership on Mitigation and MRV, 2014) sin poner en riesgo la economía del país, debido a su flexibilidad en diversificar la matriz energética durante el proceso de transición energética por el que



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



actualmente pasa y cuyo reto es aumentar la participación de las energías renovables.

Bajo este contexto resulta importante contar con un panorama general de las tecnologías de generación eléctrica disponibles actualmente, que buscan la reducción de emisiones de GEI en el proceso de generación eléctrica y a su vez disminuir la dependencia a combustibles provenientes de fuentes fósiles.

Lo anterior, sin perder de vista abastecer la demanda de energía eléctrica futura del país y así apoyar en el cumplimiento de los objetivos establecidos en los instrumentos de planeación de la política pública de cambio climático, que, específicamente en la ENCC y la ENCA proponen fomentar la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias y tecnologías más eficientes dentro del crecimiento del SEM.

Motivo por el cual, en el presente trabajo se analizarán y evaluarán diferentes escenarios mediante tecnologías limpias del Sistema Eléctrico Mexicano y así proponer el uso de dichas tecnologías con el escenario de mayor incidencia al cumplimiento de las ENCC y ENCA, al año 2050.

1. 4 Alcance

El presente estudio se enfoca en realizar un análisis y evaluación de escenarios de crecimiento del Sistema Eléctrico Mexicano para dar cumplimiento teórico a la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA), al año 2050 y en cuyo alcance se busca fomentar la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias mediante el uso de tecnologías más eficientes, considerando



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



únicamente 10 tipos tecnologías de generación eléctrica, así como su generación total, es decir considerando la aportación de los Productores Independientes de Energía (PIE).

1. 5 Hipótesis

Es posible evaluar la sensibilidad del Sistema Eléctrico Mexicano que involucra el crecimiento económico, demanda y emisiones, al año 2050 con base en modelos poblacionales y así cumplir con los objetivos propuestos en las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y de Calidad del Aire.

1. 6 Objetivo General

Analizar y evaluar alternativas con energías limpias para escenarios de crecimiento del Sistema Eléctrico Mexicano para dar cumplimiento puntual a la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA), al año 2050, y en cuyo alcance se busca fomentar la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias mediante el uso de tecnologías más eficientes.

1. 6. 1 Objetivos Particulares

- Recopilación de información histórica del Sistema Eléctrico Mexicano para cuantificación de la generación y consumos por tipo de fuente.
- Analizar la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Calidad del Aire relativa a las fuentes de energía y sus emisiones por tipo de tecnologías.
- Evaluar un modelo del Sistema Eléctrico Mexicano, con variación en



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



las capacidades de generación y consumo, en función de las tecnologías limpias para satisfacer las ENCC y ENCA.

- Comparación de escenarios en función de las capacidades energéticas de las tecnologías sustentables.
- Proponer el uso de las tecnologías sustentables con el escenario de mayor incidencia en el cumplimiento de las ENCC y ENCA.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2. 1 Compromisos de emisiones de GEI.

Es de notarse que, dentro del Sector Energético, los dos grandes emisores de GEI son el sector transporte, con un 35%, es decir 171 MtCO₂eq y el sector de generación eléctrica, con un 34% equivalente a 165 MtCO₂eq (Höhne, N., Ellermann, C., & Li, L., 2015), durante el año 2015; por lo que juegan un papel importante en cualquier esfuerzo para mitigación de los GEI dentro del Sector Energético y así poder cumplir con las metas comprometidas mediante las iNDCs (Ver Figura 7).

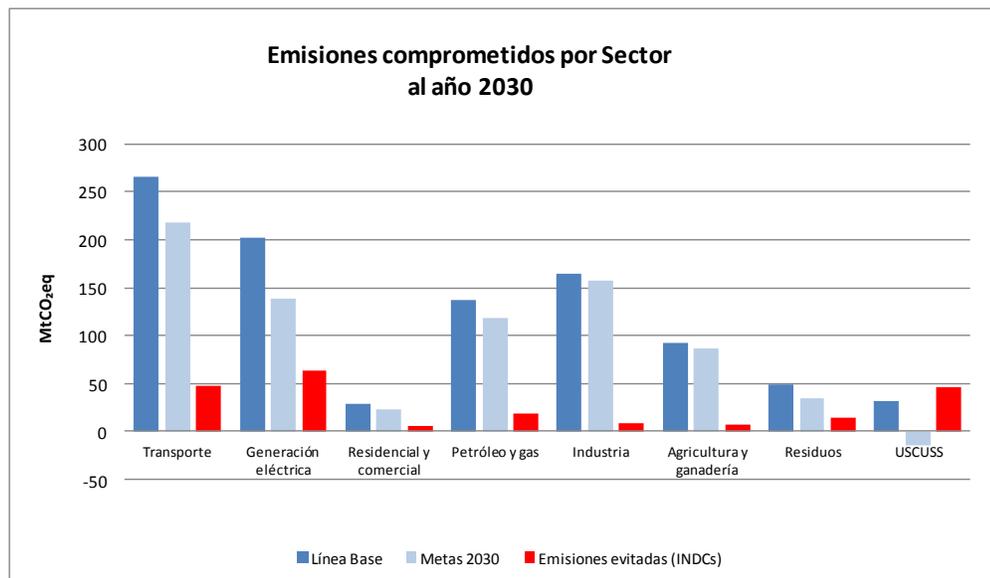


Figura 7. iNDCs por Sectores.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de SEMARNAT.

Si bien el Sector Transporte es el mayor emisor de gases de GEI dentro del Sector energético, en la Figura 7 podemos observar que, respecto al sector de Generación eléctrica, sus emisiones de GEI evitas son menores (barras



rojas), es decir, el compromiso incondicional de disminución al año 2030 es de 48 MtCO₂eq anuales que representa una aportación del 18%. (SEMARNAT, 2015a). Cabe señalar que dicho sector es muy complejo y cuenta con gran variedad de factores que lo afectan directamente dificultando ampliar sus esfuerzos de mitigación (Gobierno de México & SENER, 2016).

De acuerdo a un estudio realizado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) con apoyo técnico de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ por sus siglas en alemán), identificaron limitaciones de información disponible dentro dicho sector en la determinación de su desarrollo energético futuro, que impactaría directamente en la toma de decisiones (CONUEE, 2016).

En Tabla 1 se muestra la situación en cuanto a datos e información respecto al Sector transporte, que tuvo como resultado el estudio antes mencionado.

Tabla 1. Limitaciones de información en el sector transporte

Fuente: Elaboración propia con información de CONUEE y GIZ.

Sector	Estatus	Déficit de datos e información y documentación
Transporte	No disponible	Base de datos de vehículos incluyendo el consumo específico de combustible y el tiempo de vida. Tasa de penetración del mercado de nuevos vehículos Tasa de penetración del mercado de vehículos importados Tasa de penetración del mercado de chatarrización de vehículos viejos Base de datos del nivel de actividad del parque vehicular por tipo de vehículo (vehículo-km, persona-km, tonelada-km)

2. 2 iNDCs del Sector eléctrico.

Por su parte el sector de Generación eléctrica y de acuerdo a los datos incluidos en la Figura 7, dicho sector contempla el mayor número de emisiones evitadas (barra roja) al año 2030, con una cantidad de 63 MtCO₂eq, es decir una disminución de un 31% sus emisiones respecto a su propia línea base. (INECC, 2015). Por otra parte en la Figura 8 se puede apreciar específicamente los iNDCs del sector eléctrico.

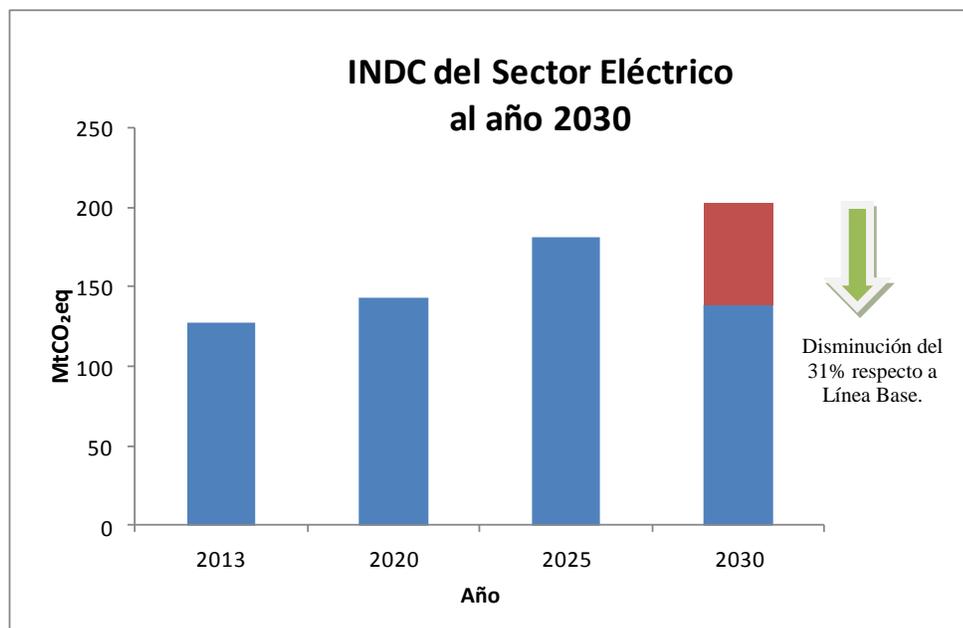


Figura 8. iNDCs del Sector eléctrico

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT

Es evidente entonces que existe una mayor oportunidad de mitigar emisiones de GEI en el sector eléctrico comparado con el resto de los sectores y sin sacrificar el desarrollo económico del país. La razón está basada en que la Generación de electricidad se puede instrumentar con más flexibilidad



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



mediante un cambio en la diversificación de la matriz energética del país (Vidal-Amaro *et al.*, 2015) .

2. 3 Metas de inclusión de las Energías Limpias en el SEM.

Los INDCs incluyen no solo objetivos de disminución de emisiones de GEI sino también la meta aspiracional de llegar a un 35% de generación eléctrica proveniente de energías limpias dentro de la matriz energética para el año 2024 (SEMARNAT, 2016), tal como se establece en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) publicada en el año 2012 (Diario Oficial de la Federación, 2012) y la todavía vigente en ese tiempo Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) de 2008 y la cual fue modificada en 2011 (Gobierno de la República, 2013).

Posteriormente en diciembre de 2016 se aprueba y publica la Ley para la Transición Energética (LTE) que deroga la LAERFTE. Esta ley estableció las metas mínimas de participación de energías limpias en la generación de energía eléctrica, como se muestran en la Figura 9 descrita en orden cronológico.

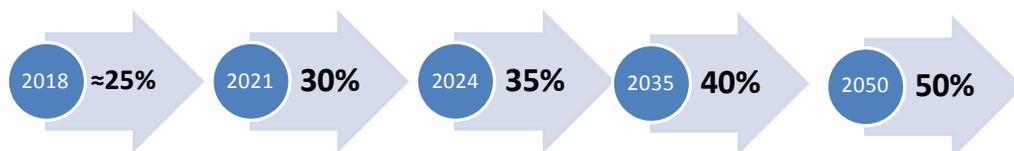


Figura 9. Porcentajes de participación de energía limpia.

Fuente: Ley de Transición Energética (LTE).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



La LTE a su vez en su Transitorio Décimo sexto, VI: establece que para que la Secretaría de Energía (SENER) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) determinen que sean Energías Limpias, se basará en una tasa de emisiones no mayor a 100 kg/MWh de CO₂ (Diario Oficial de la Federación, 2015), de igual manera considera como energías limpias a las provenientes del viento, la radiación solar (en todas sus forma), yacimientos geotérmicos, energía proveniente de centrales hidroeléctricas y la energía nucleoelectrica, entre otras.

2. 4 Instrumentos de planeación para mitigar las emisiones de GEI.

Asimismo, en junio de 2013 se publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), en la que se definen las bases de la política nacional de cambio climático y en ella sustentan los ejes estratégicos en materia de adaptación y mitigación de GEI (Gobierno de la República, 2013). Por su parte la SEMARNAT diseñó en 2016 la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA), que contiene objetivos, estrategias y líneas de acción para mejorar la calidad del aire en el territorio nacional con el objeto de proteger la salud de la población, la flora y fauna de nuestros ecosistemas, y contribuir al desarrollo económico sustentable del país (SEMARNAT, 2016).

Dichas Estrategias se encuentran consideradas dentro de la estructura de LGCC, como instrumentos de planeación a mediano y largo plazo (Diario Oficial de la Federación, 2012). De este modo ambas estrategias proponen impulsar un ordenamiento integral y sustentable del territorio así como transitar hacia procesos productivos amigables con el medio ambiente y respecto al Sector de generación eléctrica sugieren sea mediante el uso de



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



energías limpias y renovables, para apoyar a mitigar la emisión de contaminantes a la atmósfera, es decir los GEI (SEMARNAT, 2016).

Actualmente el Sector de generación eléctrica en nuestro país se encuentra integrado por actores públicos representada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y privados como los Productores Independientes de Energía (PIEs). Se articula o interconecta entre sí a través del Sistema Eléctrico Mexicano (SEM), que cuenta con una cobertura para abastecer energía eléctrica a lo largo de toda la República Mexicana.

La capacidad de generación de electricidad a disposición de la CFE se diversifica en 10 tipos de tecnologías: vapor (combustóleo y gas), carboeléctrica, geotermoeléctrica, ciclo combinado, turbogás, combustión interna, hidroeléctrica, eoloeléctrica, nucleoeléctrica y solar fotovoltaica (CFE, 2015).

Por su parte la generación de los PIEs se vende exclusivamente a la CFE acorde de la legislación con la que fueron contratados es decir, la actual Ley de la Industria Eléctrica (Diario Oficial de la Federación, 2014).

Cabe mencionar que los tipos de generación de energía que utilizan combustibles fósiles para generar electricidad son las siguientes: carboeléctrica, ciclo combinado, combustión interna, turbogás y vapor convencional (combustóleo y gas).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El presente estudio se basa en la metodología descrita a continuación:

3.1 Recopilación de información del SEM.

Búsqueda y recopilación de información teórica y técnica del SEM disponible, considerando la capacidad instalada, generación de energía eléctrica por tipo de tecnología, porcentaje de participación de las tecnologías renovables en la generación eléctrica, uso de fuentes energéticas, eficiencias de conversión en la generación eléctrica por tipo de tecnología, así como las emisiones de GEI generadas por tipo de tecnología durante un periodo de análisis del año 2000 al 2015.

3.2 Análisis de la ENCC y ENCA, considerando su estructura, metas y sectores.

Análisis de ambas estrategias, cuyo objetivo es identificar puntos comunes de intersección entre sus líneas de acción que converjan en los mismos objetivos enfocados hacia el sector eléctrico y la incorporación de tecnologías de generación eléctrica más eficientes e impactando en la disminución de su intensidad energética, así como alinear dicho traslape de objetivos al Programa Nacional de Desarrollo (PND).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



3.3 Implementación en un Modelo de Optimización Energética (MOE), incorporando restricciones y parámetros.

El Modelo que se implementará, se obtuvo del proyecto posdoctoral: Prospectivas del Sistema Energético Mexicano con base en modelos de optimización y simulación (CONACyT, 2018).

Al modelo mencionado con anterioridad se le incorporaron parámetros y restricciones descritas a continuación:

3. 3. 1 Modelos poblacionales.

Se utilizarán datos tomados de dos modelos de crecimiento poblacional:

- Uno basado en proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), siendo ésta una instancia gubernamental mexicana que tiene por objeto el diseño, operación y evaluación de las iniciativas públicas destinadas a regular el crecimiento de la población. Las proyecciones consideran una tasa de fecundidad promedio de 2.1 y la población a mediados de año (CONAPO, 2016). Teniendo dentro de la metodología de cálculo de CONAPO (CONAPO, 2010), las siguientes consideraciones:
 - Se sumaron los nacimientos por edad de las madres de las 32 entidades federativas.
 - Se calculó la población media por grupos quinquenales como promedio simple de las mujeres al principio y al final del periodo.
 - Se calcularon las tasas de fecundidad por edad las Tasas Globales de Fecundidad correspondientes.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Generando los siguientes valores proyectados del crecimiento poblacional esperado al año 2050.

Tabla 2. Indicadores demográficos al año 2050

Fuente: CONAPO, 2016.

Indicador	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
*Población a mitad del año	127,091,642	132,584,053	137,481,336	141,756,920	145,415,859	148,451,031	150,837,517

*Habitantes

- El otro modelo tomado de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) bajo el escenario de alta fertilidad con una tasa de fecundidad total de 2.6 hijos por mujer en la variante, HVF, (High Variant Fertility, por sus siglas en inglés), (ONU, 2017). Cuyos datos se muestran en periodos de 5 años.

Tabla 3. Indicador demográfico al año 2050

Fuente: ONU, 2017.

Indicador	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
*Población a mitad del año	135,307,000	144,220,000	152,472,000	160,123,000	167,338,000	174,196,000	180,641,000

*Habitantes



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



3. 3. 2 Base de datos de centrales de generación eléctrica.

Se considerarán y actualizará la base de datos del listado de Centrales de generación eléctrica con base en el Informe Anual 2015, emitido por la CFE y cuyos datos serán incluidos de acuerdo al número, tipo y capacidad instalada de cada una de las centrales de generación eléctrica, en el presente estudio. Dicha base de datos se actualizará al mes de Mayo de 2016 (Apéndice A).

3. 3. 3 Generación eléctrica de Comisión Federal de Electricidad y Productores Independientes de Energía (PIE´s).

El SEM secciona en dos modalidades o categorías la generación de energía eléctrica, según sea su procedencia, dichas modalidades las integran los Productores Independientes (PIE) y la generación pública (de la cual es responsable directamente CFE).

Para definir la modalidad de generación eléctrica a considerar dentro del presente trabajo, se realizará un análisis retrospectivo del crecimiento y aportación de cada una de ellas dentro del SEM, considerando su capacidad instalada y la generación eléctrica.

3. 3. 4 Consumos energéticos per cápita.

Se considerarán dos escenarios de consumo energético per cápita: el primero con un valor de 2.0 MWh, basándonos en el consumo promedio del periodo 2000 al 2015 en México, de acuerdo a datos de la EIA y el segundo con un valor de 4.0 MWh, considerando el consumo que tuvieron algunos



países desarrollados durante el año 2015 de acuerdo a la EIA.

3. 4 Estimación de variación de las capacidades de generación mediante tecnologías limpias haciendo uso de un Modelo de Optimización Energética (MOE).

Dentro del MOE y basándonos en el software *General Algebraic Modeling System (GAMS)*, se realizará una variación en las aportaciones de generación eléctrica por tipo de tecnología.

La demanda energética del SEM, representada por la expresión F_{demand} (GWh), se propone modelar en función de la contribución energética proveniente de fuentes fósiles y limpias.

Es decir:

$$F_{demand} = F^{Fósil} + F^{Limpia} \quad (1)$$

Dicha contribución deberá cubrir la demanda energética estimada, acorde al modelo poblacional correspondiente (CONAPO, HVF).

Es decir

$$F_{demand} = Habitantes^{CONAPO; HVF} * Consumo\ energético^{per\ cápita} \quad (2)$$

Así mismo se incorporan valores de eficiencia energética para cada una de las tecnologías de generación eléctrica y representada por la expresión $E^{Efic-tec}$, como se puede observar en la ecuación ejemplo siguiente, de la aportación de la tecnología de generación eléctrica fotovoltaica y de esa manera se incorpora a los tipos de tecnologías de generación propuestas.

$$F^{Limpia-ftv} \leq F^{Limpia-ftv-inst} + F^{cap-limpia-ftv} * \chi^{Limpia-ftv} * 8.760 * E^{Efic-tec-ftv} \quad (3).$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Cabe señalar que en el MOE a utilizar, se incluirá la aportación de la energía nuclear debido a que en su proceso de generación eléctrica es considerada como tecnología de generación limpia.

Así mismo se anexará la fuente energética basada en carbón, en lo correspondiente a las energías provenientes de fuentes fósiles (Apéndice B).

3. 5 Propuesta de escenarios al año 2020, 2024, 2030 y 2050.

De acuerdo a los resultados que se obtengan dentro de la simulación del MOE, se propondrán diversos escenarios, basados en el crecimiento de la demanda de energía eléctrica dentro del SEM y se proyectarán a los años 2020, 2024, 2030 y 2050.

3. 6 Análisis y propuesta de escenarios que cumplan con los objetivos de la ENCC y ENCA.

Con base en los objetivos descritos en la ENCC y ENCA a mediano y largo plazo, se analizarán y compararán los resultados obtenidos, bajo los distintos escenarios propuestos correspondientes al aumento en la demanda de energía y la mitigación de emisiones de GEI logradas. Siendo las condiciones energéticas, aquellas incluidas en la LGCC, ENCC y ENCA, tal como se puede ver en la Figura 10.

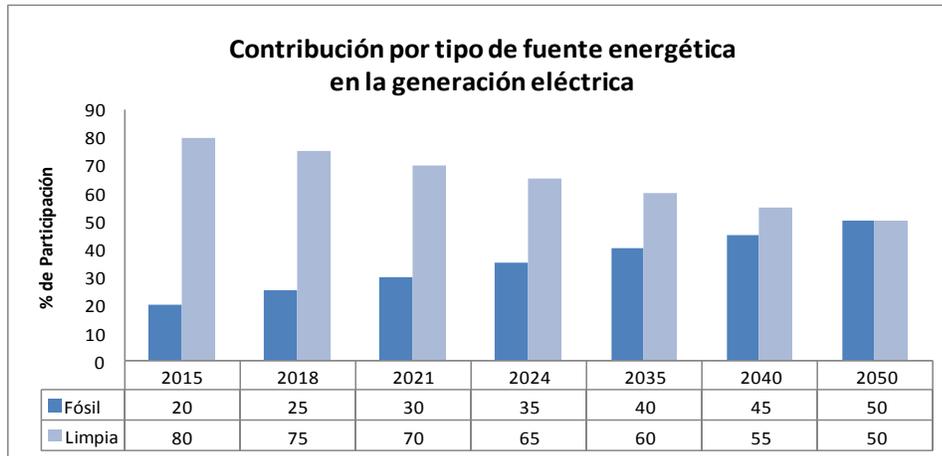


Figura 10. Condiciones energéticas
Fuente: Elaboración propia con información de la LGCC, ENCC y ENCA.

Así mismo la función para el cálculo de emisiones de GEI, que será incluida en el MOE se describe a continuación:

$$CO_{2eq} = \sum_i E_i \cdot FECO_{2eq_i} \quad (4)$$

En la cual:

$FECO_{2eq_i}$ es el factor de emisión de CO_{2eq} por el uso de combustible i

Teniendo como límite las metas de mitigación de GEI, descritas de manera gráfica en la Figura 11.

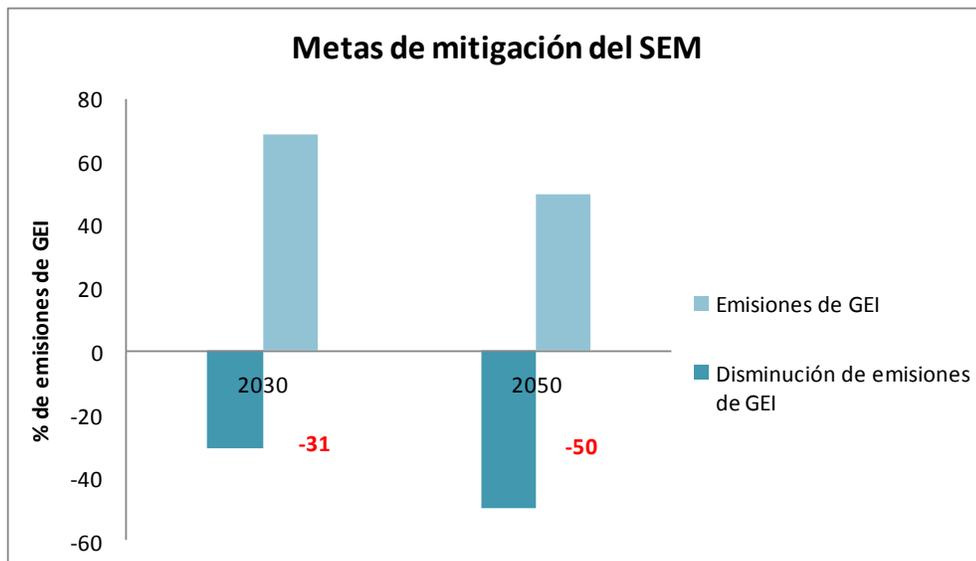


Figura 11. Metas de mitigación de GEI, Sector eléctrico.

Fuente: Elaboración propia con información de la LGCC, ENCC, ENCA, SENER e INECC.

De esa forma se logrará proponer aquellos escenarios que más se alinean a dichos objetivos.

Asimismo, en la Figura 12 se puede apreciar el proceso que seguirá la ejecución del Modelo de Optimización Energética en el software *GAMS*.

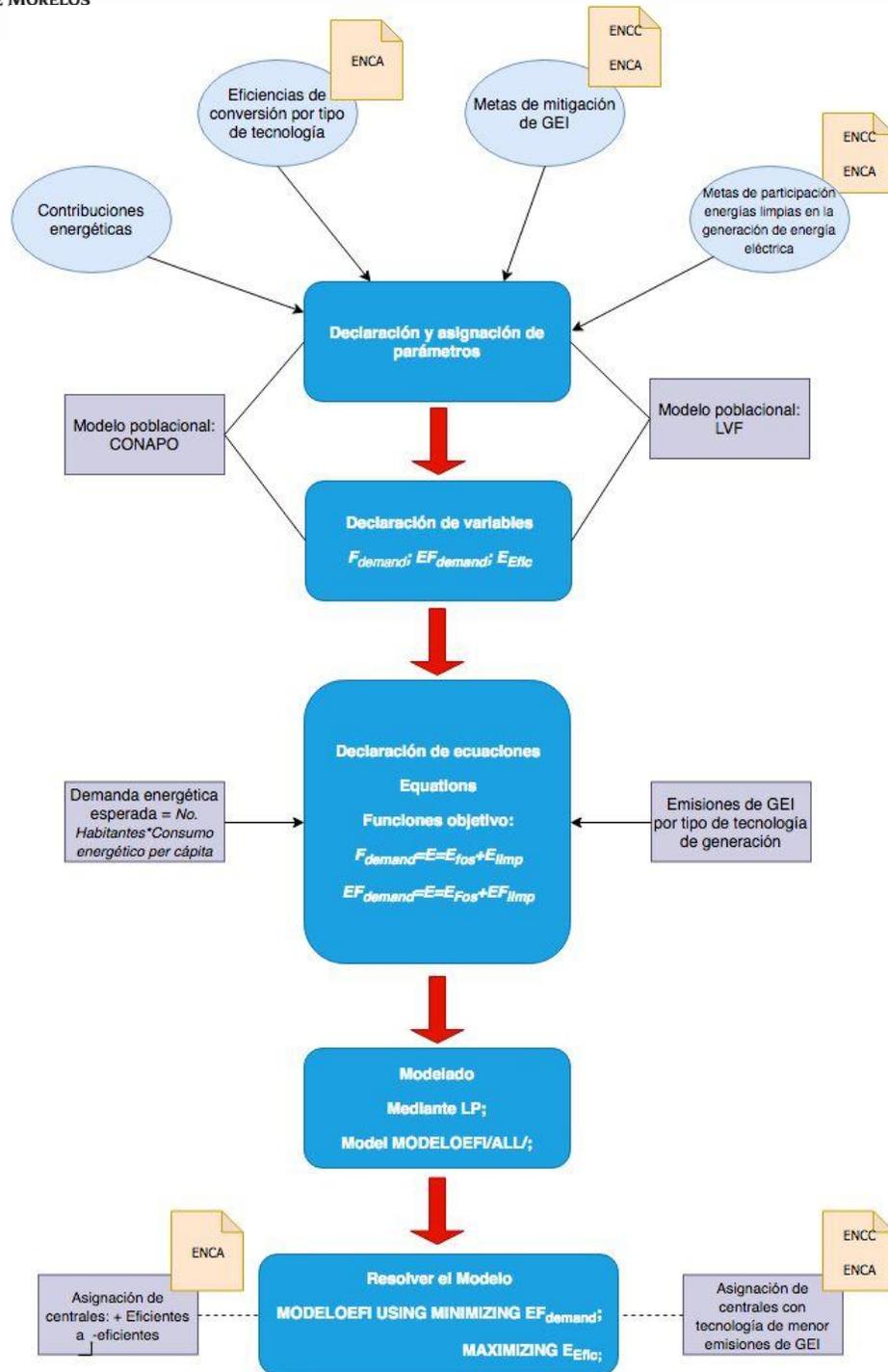


Figura 12. Diagrama de flujo de ejecución de MOE en GAMS. Fuente: Elaboración propia con información de software GAMS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4. 1 Análisis de ENCC y ENCA

Se realizó un análisis de ambas estrategias (ENCC y ENCA), y se logró identificar las líneas de acción que tienen en común enfocadas al SEM, así mismo se alinearon dichos objetivos al Plan Nacional de Desarrollo. En la Figura 13 se puede apreciar el traslape de ambas estrategias, respecto a su estructura.

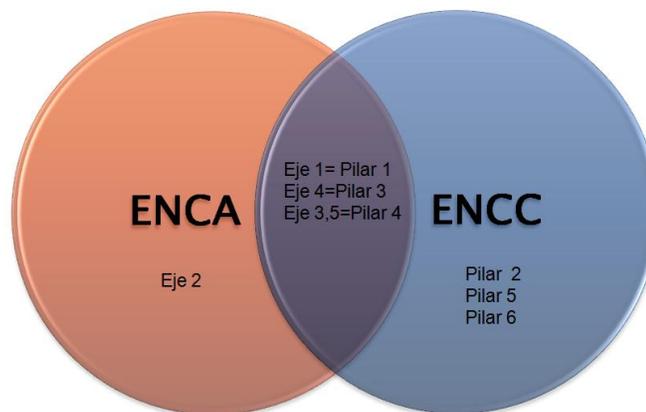


Figura 13. Traslape ENCC y ENCA

Fuente: Elaboración propia con información de ENCC y ENCA.

Posteriormente, se analizaron los Pilares 1, 3, y 4 correspondientes a la ENCC, así como los Ejes 1, 3, 4 y 5 de la ENCA cuyos objetivos principales convergen de acuerdo al Sector Energético, a continuación se describe el enfoque correspondiente.



Tabla 4. Enfoque puntual de ENCC y ENCA

Fuente: Elaboración propia con datos de ENCC y ENCA.

ENCC		ENCA	
Pilar	Enfoque	Eje	Enfoque
1	Contar con políticas climáticas transversales, articuladas, coordinadas e incluyentes.	1	Gestión integral de la Calidad del Aire.
3	Implementar una plataforma de investigación, innovación, desarrollo y adecuación de tecnologías climáticas.	3	Empresas comprometidas con la Calidad del Aire.
4	Promover el desarrollo de una cultura climática.	4	Políticas para mejorar la calidad del aire con base científica.
		5	Sociedad responsable y participativa.

Una vez armonizados los Pilares y Ejes estratégicos acorde a sus enfoques generales, se analizaron las líneas de acción correspondientes a cada uno, logrando converger en el Pilar 1 (ENCC) enfocado al eje estratégico de mitigación y los Ejes 1 y 3 (ENCA).

Tabla 5. Armonización de objetivos ENCC y ENCA

Fuente: Elaboración propia con información de ENCC y ENCA.

ENCC		ENCA	
	Eje Estratégico de Mitigación	Eje	Estrategia (Línea de acción)
1	M1_ Acelerar transición energética	1	1.3_ Reducir emisiones de GEI.
	M2_ Reducir intensidad energética	3	3.2_ Mejoramiento de Eficiencia Energética.
	M5_ Reducir emisiones de GEI.		

Lo anterior permitió articular los objetivos de ambas estrategias con la meta nacional del Programa Nacional de Desarrollo “México Próspero”, particularmente con el Objetivo 4.4, cuya Estrategia 4.4.3 busca fortalecer la política nacional de cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono. Además, se sustenta en los artículos 31 a 37 de la LGCC.



4. 2 Asignación de tecnologías de generación eléctrica

Basado en el Informe de la Tecnología de Referencia emitido por Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE) durante el año 2016, se consideraron 10 tipos de tecnologías de generación eléctrica, las cuales se enlistan a continuación, así como su participación en la generación total en el Sistema Eléctrico Mexicano en los últimos años.

Tabla 6. Listado de tecnologías de generación.

Fuente: Elaboración propia con datos de CENACE y CFE.

Tecnología de generación eléctrica	
Fósil	Limpia
1. Termoeléctrica	6. Hidroeléctrica
2. Turbogás	7. Nuclear
3. Ciclo combinado	8. Geotermoeléctrica
4. Combustión interna	9. Eólica
5. Carboeléctrica	10. Fotovoltaica

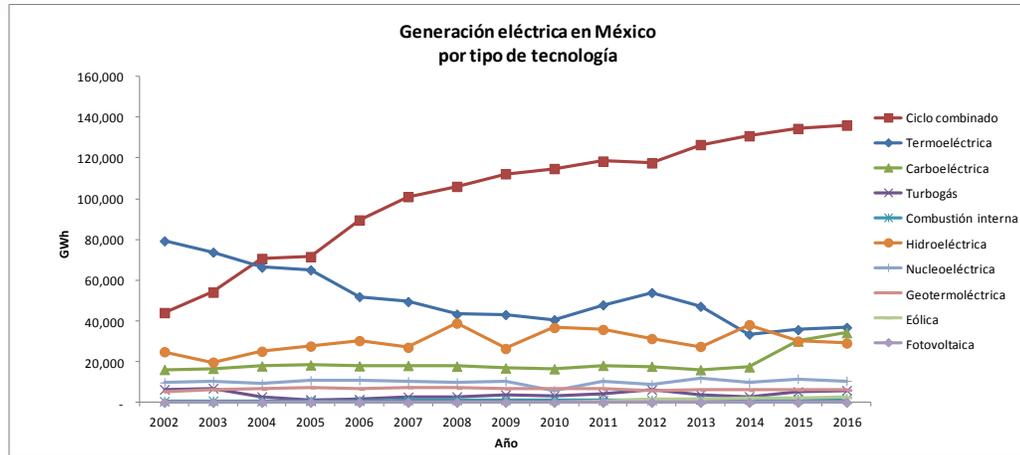


Figura 14. Generación eléctrica por tipo de tecnología
Fuente: Elaboración propia con datos de SIE, CFE, SENER.

Tomando en cuenta lo anterior es importante comentar que, en 2015, la elevada disponibilidad de gas permitió reducir el consumo de los combustibles más caros y contaminantes como el combustóleo y el diesel (CFE, 2015).

Puede notarse que en el SEM, predomina la generación a partir de combustibles fósiles.

4. 3 Modalidad de generación utilizada.

Para poder determinar la modalidad a considerar en la realización del cálculo de la demanda eléctrica en México al año 2050, se evaluaron las aportaciones de cada una de las modalidades y se determinó que es de vital importancia considerar la generación total, es decir la sumatoria de los PIE's y CFE. En las figuras 15 y 16 se puede apreciar el crecimiento tendencial de cada uno de las categorías de manera histórica, ambas categorías han tenido aportaciones de gran importancia dentro del SEM, así pues los PIE's tendrán una gran aportación en el logro de las metas de crecimiento en la generación eléctrica proveniente de fuentes limpias.

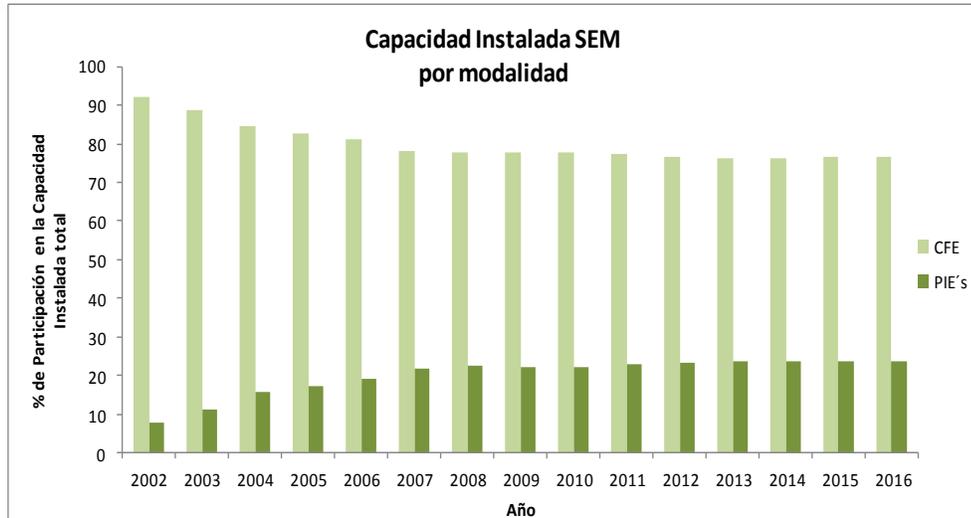


Figura 15. Participación de CFE y PIE's en la Capacidad Instalada
Fuente: Elaboración propia con datos de Informes Anuales de CFE.

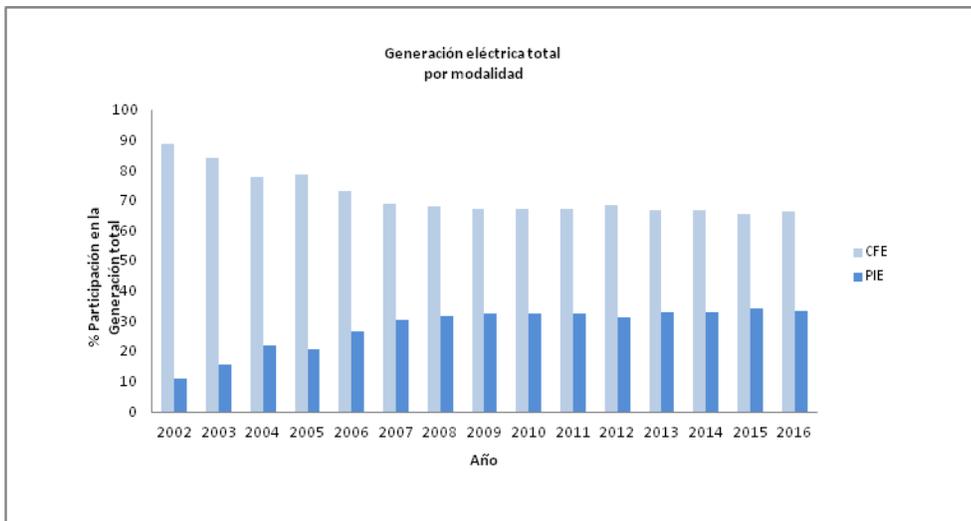


Figura 16. Aportación CFE y PIE's en la generación eléctrica.
Fuente: Elaboración propia con datos de Informes Anuales de CFE.



4. 5 Análisis de modelos poblacionales.

De acuerdo a la selección de los modelos poblacionales considerados dentro del Modelo Energético de Optimización, CONAPO proyecta que la población al año 2050 será de 150, 837, 516 habitantes. Por su parte, el modelo de la ONU bajo el escenario de crecimiento poblacional alto (High Variant Fertility, por sus siglas en inglés), estima que para el año 2050 en México habrá 180, 641, 000 habitantes (ONU, 2017).

Dichas tendencias de los modelos poblacionales cuentan con una variación entre ambos del 1.2% al año 2050.

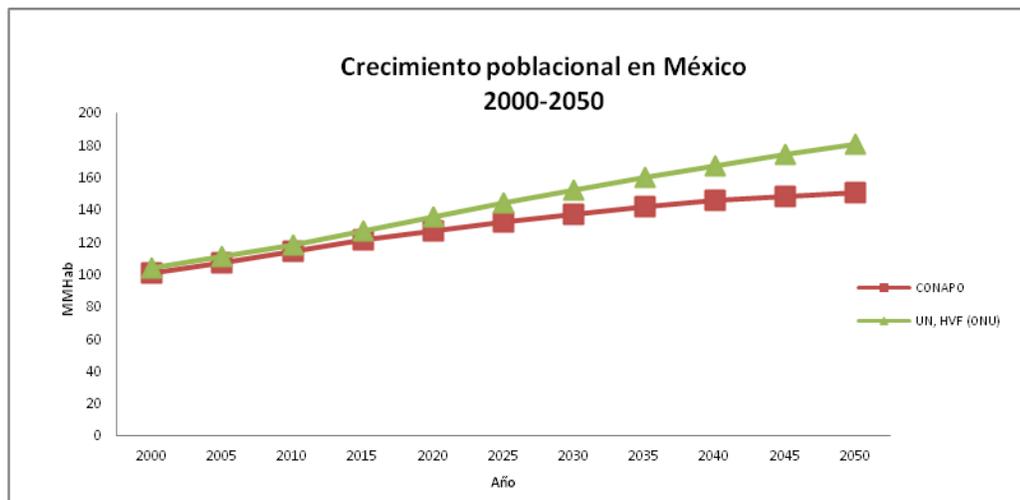


Figura 17. Crecimiento poblacional en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO y ONU.

4. 6 Eficiencias de conversión energética

En referencia a la M2 de la ENCC y Estrategia 3.2 de la ENCA, estas convergen en una de sus líneas de acción cuyo objetivo de fomentar el uso de tecnologías de generación eléctrica más eficientes, ya que contemplan que la Eficiencia Energética debe resaltar sobre la cultura del consumo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

energético con el que cuenta actualmente el país dentro de todos sus sectores. Referente al sector eléctrico la eficiencia energética puede ayudar a mitigar el aumento del precio de los combustibles derivados del petróleo y así reducir el consumo de estos.

La CFE por su parte, contempla eficiencias de conversión energética por tipo de tecnología utilizada, descrito en el documento de Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión (COPAR), elaborado de forma anual.

Las eficiencias de conversión energética consideran parámetros en la contribución de la generación eléctrica de cada una de las tecnologías y fueron incluidas en el Modelo Energético de Optimización, el comportamiento de dichas eficiencias posiciona a energía eólica (57%) y ciclo combinado (52%) como las dos tecnologías de generación eléctrica más eficientes.

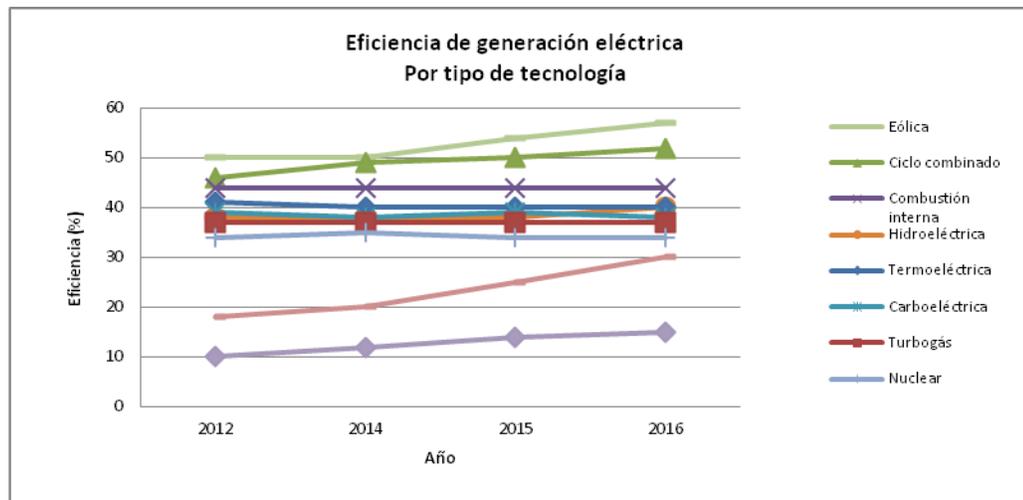


Figura 18. Eficiencia de generación eléctrica, por tipo de tecnología en función del tiempo
Fuente: COPAR 2012- 2016, CFE.



4. 7 Cálculo del factor de emisión de GEI's por tipo de tecnología

Teniendo como referencia datos de consumo energético y GEI emitidos para el año 2015, se logró calcular un factor de emisión correspondiente a la generación eléctrica proveniente de fuentes fósiles utilizado como parámetro de referencia para el cálculo de emisiones proveniente de dichas fuentes.

El factor de emisión se obtuvo relacionando las emisiones expresadas en Gigatoneladas de CO₂eq con los GigaWatt-hora generados durante el mismo periodo, como se puede observar en la Figura 19, teniendo como referencia el INEGI y el Informe Anual de CFE, ambos 2015.

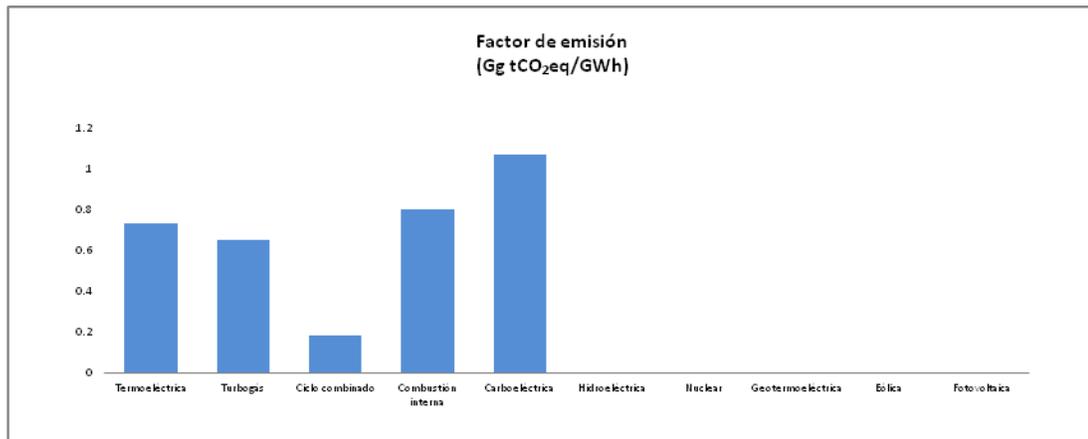


Figura 19. Factor de emisión energías convencionales y limpias, en operación.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y CFE.

Mediante la obtención de dicho factor, se logró observar que la tecnología de generación eléctrica fósil de mayor contribución en años proyectados, con tecnologías de menor impacto en el logro de las metas de mitigación de GEI's, es la Ciclo Combinado, seguida de Turbogás.



4. 8 Demanda eléctrica en México al año 2050

Con base a los modelos poblacionales CONAPO y HVF, antes descritos y los consumos per cápita tomados de la Agencia Internacional de Energía (AIE) para México, se logró estimar la demanda de energía eléctrica esperada al año 2050 (Figura 20).

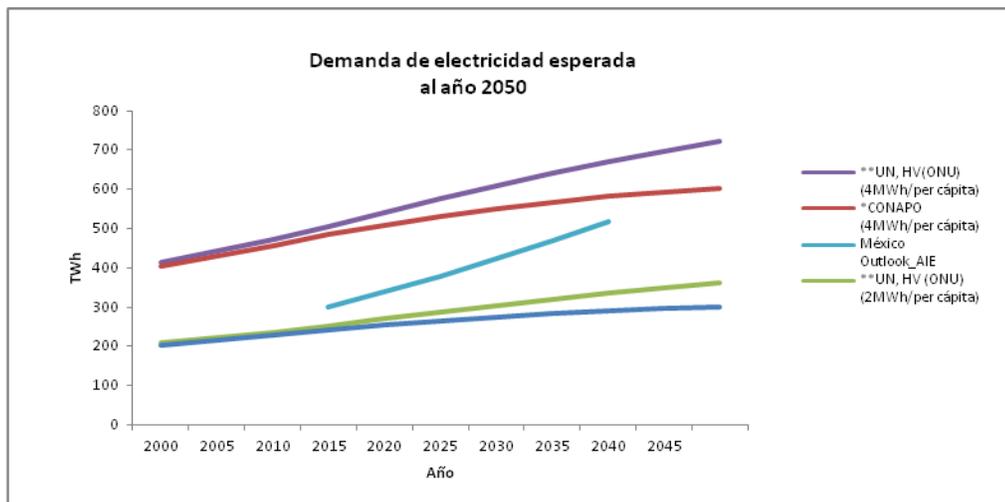


Figura 20. Demanda de energía eléctrica esperada.

Fuente: Elaboración propia con datos de CFE, AIE.

Así mismo, se realizó un comparativo de las demandas de energía eléctrica esperada, con lo establecido dentro del documento México Energy Outlook, 2015 (International Energy Agency & Energy Climate and Change, 2015) emitido por la IEA y el intervalo de las demandas esperadas cubre perfectamente lo establecido en dicha referencia.

4. 9 Escenarios proyectados para cubrir la demanda eléctrica.

4. 9. 1 Modelo: CONAPO

4. 9. 1. 1 Modelo: CONAPO 2MWh/per cápita

En la Figura 21, se puede ver la participación de cada una de las tecnologías de generación eléctrica del año 2020 al 2050 y cabe mencionar que la única tecnología de fuente fósil que apoya la generación eléctrica en el año 2050, es Ciclo Combinado con un 48% de la generación total, así también se puede apreciar que el 52% proviene de fuentes limpias, donde la tecnología de mayor crecimiento es la Eólica con un 24%, seguida de la Hidroeléctrica con una aportación del 10.7%, Geotermoeléctrica con un 7.9%, Nuclear 7.3% y finalmente la Fotovoltaica con 1.48%; para cubrir la demanda de energía eléctrica al año 2050.

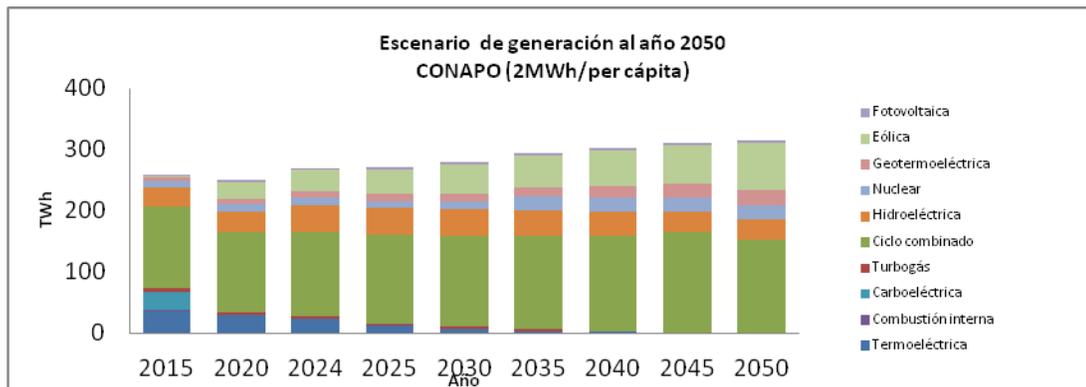


Figura 21. Generación eléctrica al año 2050 (CONAPO 2MWh/per cápita), por tipo de tecnología.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, CFE, SENER.

4. 9. 1. 2 Modelo: CONAPO 4MWh/per cápita

Por otra parte, en el escenario de alto consumo podemos apreciar que la tecnología de generación Ciclo combinado baja su aportación hacia el año 2050, participando con solo un 25% pero se suma la tecnología de Turbogás con un 0.02% y en cuyo caso predomina la tecnología Eólica ya que participa en un 34%, seguido por Geotermoeléctrica con 23%, posteriormente la Hidroeléctrica con 11.3%, Nuclear con 3.7% Fotovoltaica con 1.2%.

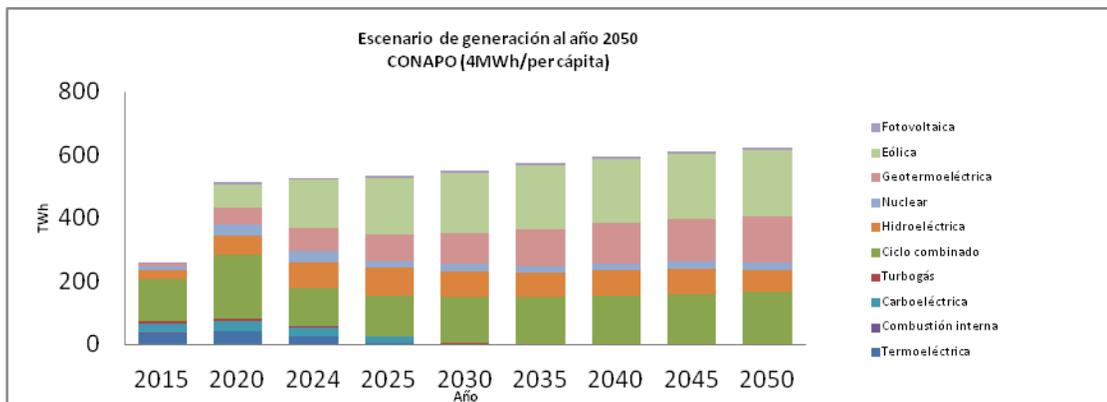


Figura 22. Generación eléctrica al año 2050 (CONAPO 4MWh/per cápita), por tipo de tecnología.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, CFE, SENER.

4. 9. 2 Modelo: HVF

4. 9. 2. 1 Modelo: HVF 2MWh/per cápita

Haciendo uso del modelo HVF, en el escenario de consumo de 2MWh/per cápita, la tecnología de mayor crecimiento y aportación en abastecer la demanda energética es la Eólica con un 25%, seguida de la Hidráulica con 10.7%, Geotermoeléctrica con 7.9%, Nuclear y Fotovoltaica con 7.3% y 1.4%



respectivamente. La generación se ve apoyada de la tecnología de ciclo combinado con un 48% en el año 2050.

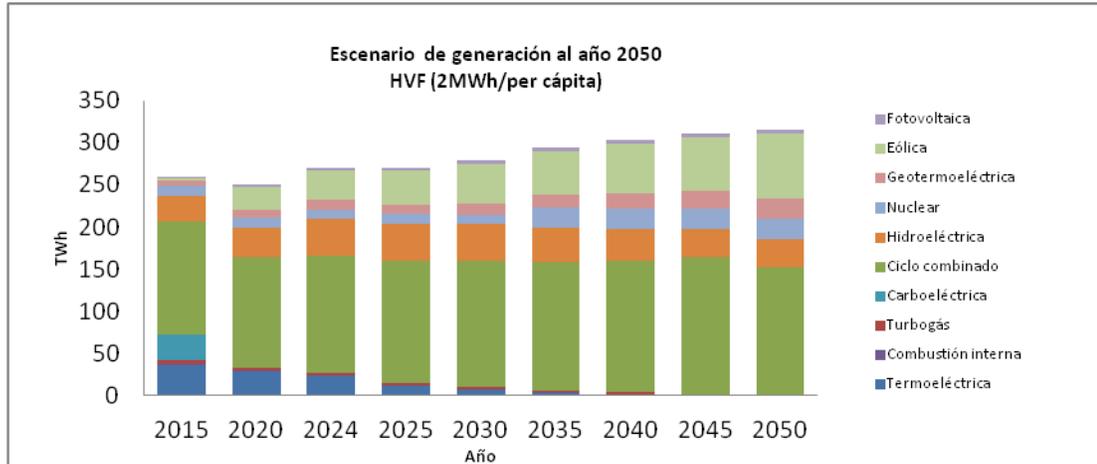


Figura 23. Generación eléctrica al año 2050 (HVF 2MWh/per cápita), por tipo de tecnología.
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, CFE, SENER.

4. 9. 2. 2 Modelo: HVF 4MWh/per cápita

Dentro del escenario de alto consumo la tecnología de mayor aportación en el año 2050 es la Eólica con 36%, seguida de la Geotermoeléctrica con 22%, Hidroeléctrica 11.3%, Nuclear con 3.7% y Fotovoltaica con 1.2%. Para abastecer la demanda de energía eléctrica bajo este escenario se requerirá el apoyo de Ciclo combinado con un 26% y Turbogás con 0.02%.

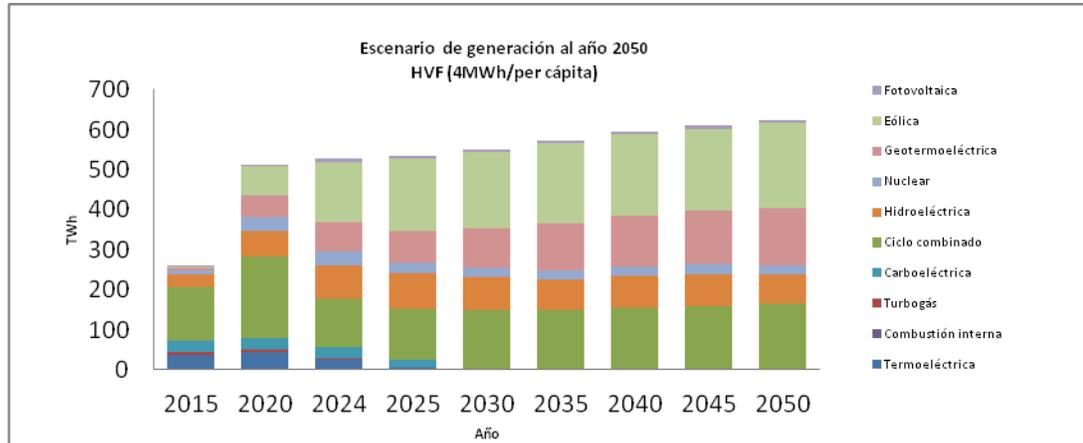


Figura 24. Generación eléctrica al año 2050 (HVF 4MWh/per cápita), por tipo de tecnología.
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, CFE, SENER.

4. 10 Esfuerzos de mitigación.

Se graficó la línea base de las Emisiones proyectadas al 2050 acorde al Anexo Metodológico de la ENCC correspondiente al Sector Eléctrico, considerando el crecimiento esperado del Producto Interno Bruto (PIB), es decir para la Línea Base se considera un 3.6%, para en escenario bajo un 2.3% y el escenario alto se considera 4.2%.

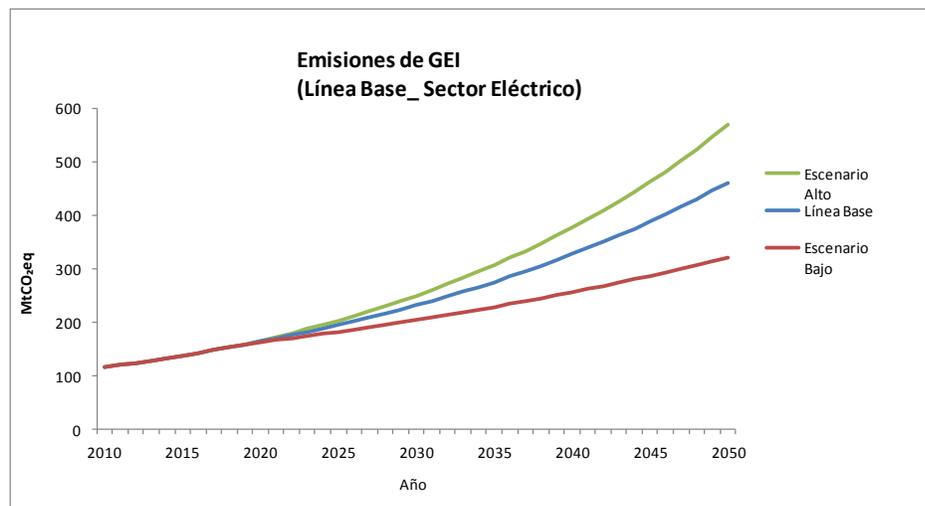


Figura 25. Línea base de emisiones de GEI_Sector Eléctrico.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de INEGI, INECC y ENCC.

Una vez proyectados los escenarios de generación eléctrica al año 2050 y establecida la línea base de emisiones de GEI, se realizó el cálculo de las emisiones de GEI que implicaría la variación acorde a la tecnología utilizada y se efectuó el comparativo contra la línea base del Sector eléctrico.

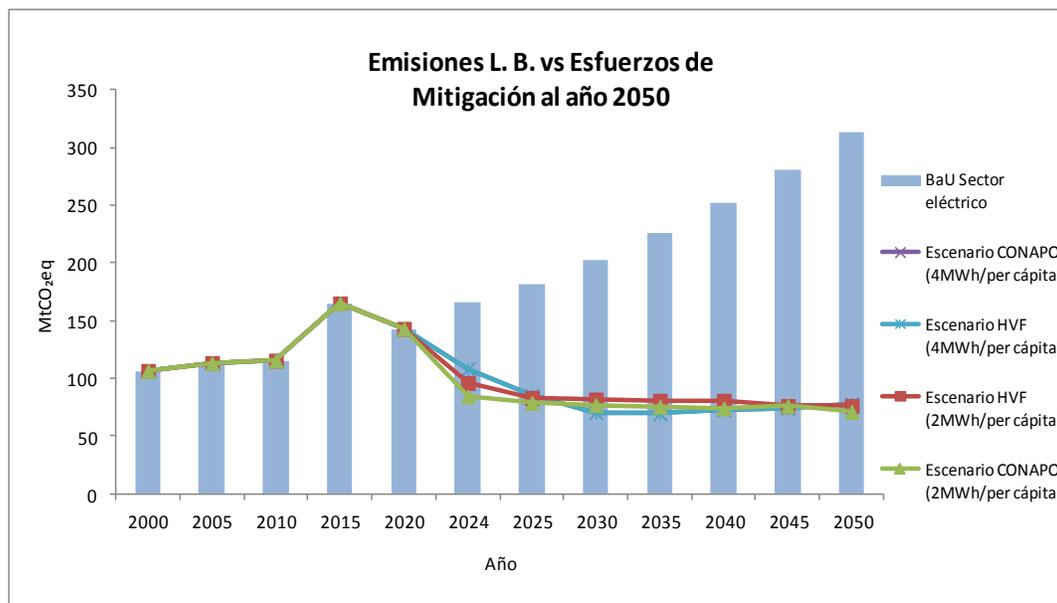


Figura 26. Esfuerzos de Mitigaciones de GEI al año 2050.

Fuente: Elaboración propia con datos de INECC, INEGI y ENCC.

Es importante mencionar, que el escenario que mas emisiones de GEI se logró mitigar fue el Modelo: CONAPO 2Wh/per cápita en cuya mitigación se logró reducir 242 MtCO₂eq, seguido del HVF 2Wh/per cápita con una disminución de 236 MtCO₂eq, mientras que los escenarios de alto consumo (4MWh/per cápita) sólo lograron reducir 234 MtCO₂eq. Lo anterior variando la participación de la generación por tipo de tecnología (ver Figura 27 y 28).

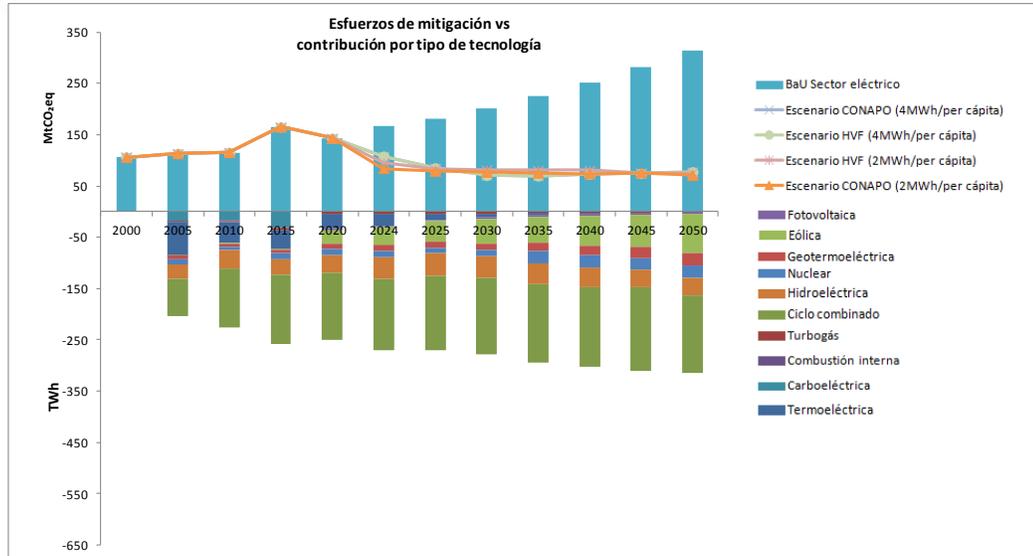


Figura 27. Esfuerzos de mitigación y participación por tipo de tecnología, modelo CONAPO 2MWh/per cápita.

Fuente: Elaboración propia con datos del MOE.

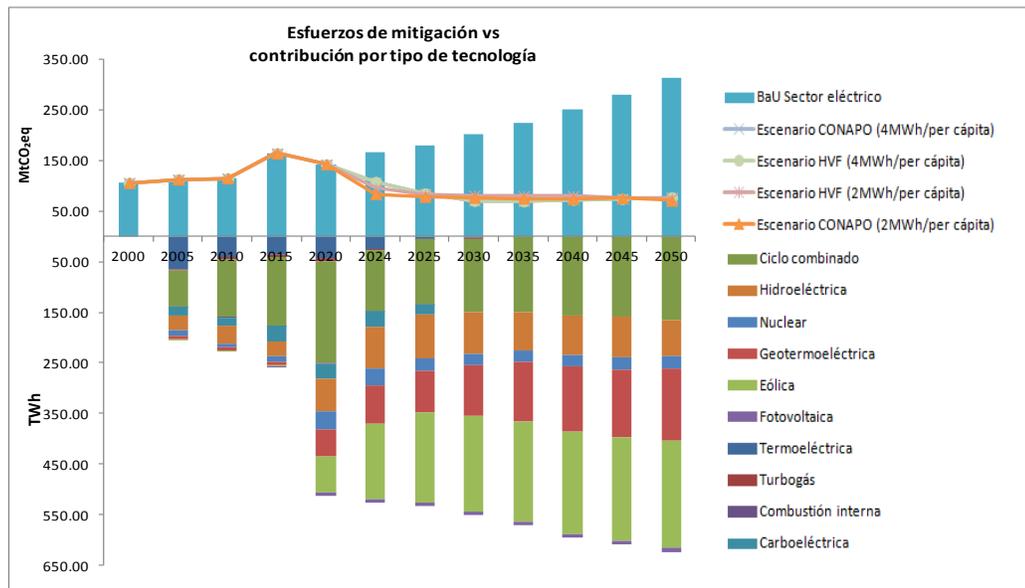


Figura 28. Esfuerzos de mitigación y participación por tipo de tecnología, modelo CONAPO 4 MWh/per cápita.

Fuente: Elaboración propia con datos del MOE.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Sin embargo, la diferencia de emisiones mitigadas entre ambos escenarios no es tan significativa ya que varía la contribución en la generación eléctrica de acuerdo al tipo de tecnología, considerando también las acciones que actualmente México ha considerado dentro de sus programas de eficiencia energética, se espera que bajo un escenario de alto consumo de energía, se incremente también el número y variedad de Programas de Eficiencia Energética que ayude al ahorro y uso eficiente de la energía. Así mismo, de acuerdo a los grandes desarrollos tecnológicos a nivel mundial, se espera la incorporación de equipos más eficientes dentro de las Centrales de generación eléctrica instaladas actualmente el país.

Lo anterior apoyaría a su vez a alcanzar la meta de Eficiencia Energética establecida dentro de la Ley de Transición Energética cuyo objetivo consiste en la disminución de la intensidad energética del consumo final de energía del 3.7% anual entre el año 2031 al año 2050 cuyo impacto se reflejaría en la disminución de emisiones de GEI.

4. 11 Número de centrales

El número de centrales correspondientes a la matriz de generación eléctrica diversificada corresponden a los dos modelos poblacionales utilizados, así como los dos escenarios de consumo de energía eléctrica per cápita. Dichas centrales se agruparon por tipo de fuente energética, es decir sea fósil y limpia; otorgando prioridad a las que emplean tecnologías limpias y más eficientes.

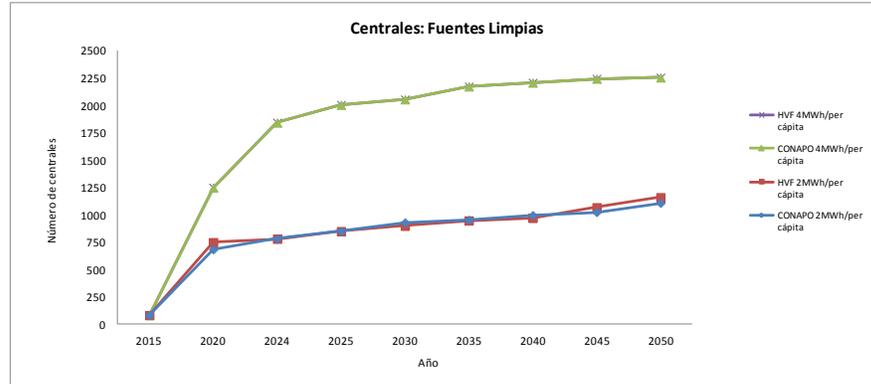


Figura 29. Número de centrales: Fuentes limpias
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, ONU, IEA.

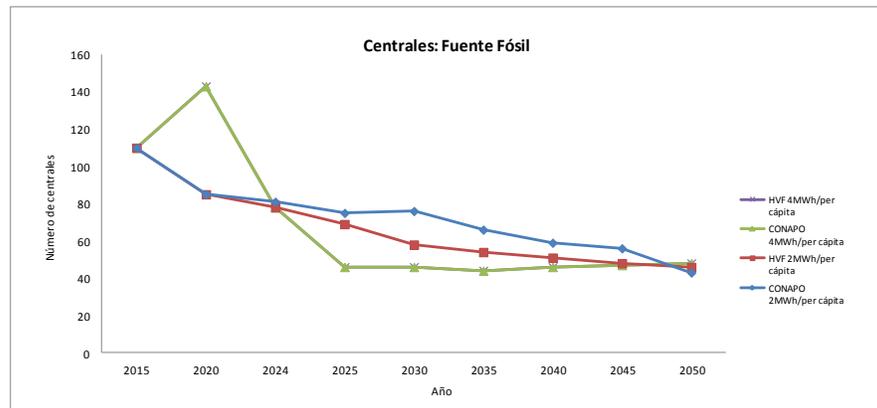


Figura 30. Número de centrales: Fuentes fósiles
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de CONAPO, ONU, IEA.



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. 1 Conclusiones

A través del análisis de las ENCC y ENCA, se logró delimitar el alcance al cumplimiento teórico del pilar 1 (ENCC) y Eje 1, 3 (ENCA) enfocado al SEM y cuyo objetivo principal se centra en fomentar la generación eléctrica con fuentes limpias y tecnologías más eficientes.

Se logró estimar la demanda eléctrica esperada en México al año 2050, utilizando el crecimiento de la población como una variable clave en su obtención, bajo dos escenarios uno alto y otro bajo. Derivado de esta estimación se mantiene siempre a la alza, logrando estimar un máximo de 2,255 y un mínimo de 1,106 centrales de generación eléctrica a base de energías limpias necesarias para abastecer dicha demanda.

Dentro de los escenarios proyectados haciendo uso del MOE, se identificó que la tecnología limpia de mayor crecimiento fue la Eólica cuyos aportes fueron del 23% al 36% bajo las condiciones de los 2 modelos poblacionales con consumos de 2MWh/per cápita y 4MWh/per cápita.

En cuanto a las tecnologías fósiles, la de mayor participación es la de Ciclo combinado ya que su aporte fue del 25% al 48% para los dos consumos referidos.

Los esfuerzos de mitigación de emisiones de GEI, bajo los escenarios proyectados fueron de 234 a 242 MtCO₂eq.

Así mismo los resultados indican, en cada escenario analizado, que tanto las emisiones de CO₂eq, como la participación de las energías limpias en la generación eléctrica satisfacen los objetivos propuestos en las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad del Aire.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



5. 2 Recomendaciones

Por otra parte, se sugiere incluir en trabajos futuros la participación de nuevas tecnologías de generación eléctrica dentro del MOE, que contribuyan a la disminución de emisiones de GEI.

Así mismo, se recomienda incorporar al MOE dentro de su estructura un apartado para la cuantificación y en su caso el ahorro económico que implica considerar tecnologías más eficientes dentro del Sistema Eléctrico Mexicano.

Finalmente, se recomienda fortalecer el desarrollo de proyectos competitivos que involucren el aprovechamiento de energías limpias, así como mejoras en la eficiencia energética durante sus procesos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



REFERENCIAS

- Bazán G., & Ortíz G., (4 / Mar / 2012) Cambio climático: la perspectiva de la AIE y enseñanzas para México. Revista online: Energía a Debate. Recuperado de <https://www.energiaadebate.com/> Fecha de consulta: 23/10/2018.
- Börjeson L., Höjer M., Dreborg K. H., Ekvall T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38 (7), 723–739.
- Botello, D. C. (2012). Reducción de emisiones de GEI en el sector eléctrico: ¿Renovables o combustibles fósiles y energía nuclear? *Universitaria, Revista Digital*, 13, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2006.05.002>
- Campos, B., Díaz, M., & Clerc, J. (2013). Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación. Inter-American Development Bank.
- CFE. (2015). Comisión Federal de Electricidad. Informe Anual, Retrieved from <http://www.cfe.gob.mx/inversionistas/informacionareguladores/Documents/InformeAnual/Informe-Anual-2015-CFE-Acc.pdf>
- CONACyT (2018) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Informe de actividades de estancia posdoctoral: Prospectivas para el sector energético mexicano con base en modelos de optimización y simulación.
- CONAPO. (2010). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población de México 1980-2030, 2005-2050, 2010-2050. Perspectiva demográfica. México.
- CONAPO. (2016). Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población de México 2010-2050. Perspectiva demográfica. México.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



CONUEE (2016). Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

Informe: Determinación de la Línea Base de consumo Energético y Potenciales de Eficiencia Energética Sectoriales En México. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/228684/L_nea_Base_de_Consumo_Energ_tico_en_Marco_Pol_tico_Largo_Plazo_Final_01-06-17.PDF

Devezas, T., LePoire, D., Matias, J. C., & Silva, A. M. (2008). Energy scenarios: Toward a new energy paradigm. *Futures*, 40(1), 1–16.

Diario Oficial de la Federación, DOF. (2008). Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, LAERFTE. 28 de noviembre de 2008. México.

Diario Oficial de la Federación, DOF. (2012). Ley General del Cambio Climático, LGCC. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>.

Diario Oficial de la Federación, DOF. (2014). Ley de la Industria Eléctrica, LIE, En H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos DOF: 11/08/2014, 1–77. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf

Diario Oficial de la Federación, DOF. (2015). Ley de Transición Energética, LTE. En H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos (24 de diciembre de 2015). DOF:24/12/2015. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>.

Elizondo, A., Pérez-Cirera, V., Strapasson, A., Fernández, J. C., & CruzCano, D. (2017). Mexico's low carbon futures: An integrated assessment for energy planning and climate change mitigation by 2050. *Futures*, 93(August), 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.08.003>

European Climate Foundation (2014), Cambio climático: implicaciones para



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



- el sector energético. Fifth Assessment Report. University of Cambridge. Retrieved from: <https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/low-carbon-transformation/ipcc-climate-science-business-briefings/pdfs/ppts/ipcc-ar5-energy-presentation-slides-en.pdf>
- Gallardo, A. H., Gallardo, R. L. H., Torres, Y. S., & López, Á. J. L. (2017). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el período 2020-2030—México. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 5(9).
- Höhne, N., Ellermann, C., & Li, L. (2015). Contribuciones previstas determinadas a nivel nacional en el marco de la CMNUCC”. International Partnership on Mitigation and MRV. Documento de Debate. Ecosys© por encargo de GIZ. https://www.transparency-partnership.net/sites/default/files/documento_de_debate_indcs_esp.pdf
- Gobierno de la República (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático, ENCC, Visión 10, 20, 40. *Diario Oficial de la Federación*: 03/06/2013.
- INECC (2015) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Gobierno de México & SENER. (2016). Secretaría de Energía. Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110_1300h_Estrategia_CCTE-1.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad A. C., IMCO. (2013). Informe. Nos cambiaron el mapa: México ante la revolución energética del siglo XXI, México. Pág. 20–23. Disponible en <http://imco.org.mx/wp->



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



content/uploads/internacional/ICI2013-completo.pdf

International Energy Agency, IEA. & Energy Climate and Change. (2015). Mexico Energy Outlook, World Energy Outlook Special Report. IEA: Paris, France Retrieved from: <https://www.iea.org/weo/mexico/>

International Energy Agency, IEA. (2016). Energy Atlas, Retrieved from: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487,%20Energy%20Atl>.

International Partnership on Mitigation and MRV. (2014). Guía Para El Proceso de Preparación de Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC). [En Línea], (Disponible en: http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/ipmm_2014_guia_para_el_proceso_de_preparacion_d...), 31.

International Partnership on Mitigation and MRV. (2014). Documento de debate, Contribuciones previstas determinadas a nivel nacional en el marco de la CMNUCC, 4–5. Retrieved from http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/documento_de_debate_indcs_esp.pdf

IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Report. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, NY: Cambridge University Pres.

IRENA. (2015). International Renewable Energy Agency. Mexico, REmap 2030 Analysis Abu Dhabi. Renewable Energy Prospects. Retrieved from www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf

IRENA. (2017). International Renewable Energy Agency. Power Sector Crucial for Global Descarbonisation, 1-4. Retrieved from: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Topics/Climate->



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Change/IRENA_Power_sector_transition_2017.pdf

- Islas J., Manzini F., M. M. (2003). Cost-benefit analysis of energy scenarios for the Mexican power sector. *International Journal Energy*, 28, 979–992.
- Islas Samperio, J. M., & Grande Acosta, G. K. (2013). Políticas públicas para impulsar las energías renovables en México, 59(2), 1–14.
- Johnson, T. M., Alatorre, C., Romo, Z., & Liu, F. (2010). México-estudio sobre la disminución de emisiones de carbono. The World Bank. Washington, DC: World. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/695641468050941688/pdf/524580PUB0SPAN1pment0Mexico1Spanish.pdf>
- Manzini F., Islas J., M. M. (2001). Reduction of greenhouse gases using renewable energies in México in 2025. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26, 145–149.
- Ockwell, D. G., Watson, J., McKerron, G., Pal, P., & Yamin, F. (2008). Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries. *Energy Policy*, 36(11), 4104–4115.
- ONU. (2017). Organización de las Naciones Unidas. División de Población del Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la Secretaría de Naciones Unidas. En: *Perspectivas de la Población Mundial: Revisión 2017*. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- Oswald, Ú. (2017). Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 62(230), 155–195. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0185-1918\(17\)30020-X](https://doi.org/10.1016/S0185-1918(17)30020-X)
- Pang, R. Z., Deng, Z. Q., & Hu, J. L. (2015). Clean energy use and total factor efficiencies: An international comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1158–1171. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.002>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Manuel Montaña-Zetina, L., & Alfonso Maldonado-López, L. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78(January), 597–613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009> Resch,
- Ramírez, A. (2014). Ante el Nuevo Escenario Energético en México: Un Modelo Estratégico para su Desarrollo Económico-Social (Tesis doctoral). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). México. Disponible en: <https://www.transdisciplinario.cinvestav.mx/Portals/transdisciplinario/SiteDoc/Otros/Ante%20el%20Nuevo%20Escenario%20Energ%C3%A9tico%20en%20M%C3%A9xico-ARZ.pdf>
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., & Haas, R. (2008). Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy policy*, 36(11), 4048-4056
- Ruiz Nápoles, P. (2014). Políticas de mitigación del cambio climático en México: un análisis de insumo-producto. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, Vol. 5 Núm. 1, enero-abril 2014. pp. 16-31
- Sandoval García, E. R. (2013). Proyección sobre energía eléctrica en México mediante la Identidad de Kaya. *Economía Informa*, 380, 41–53. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(13\)71320-3](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(13)71320-3)
- Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: Integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 80, 119–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.061>
- Secretaría de energía, SENER (2016). *Prospectivas de energías renovables*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



2016-2030, in Spanish, Renewable Energy Perspectives,
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachme
nt/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf).

SEMARNAT. (2015a). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Sala de Prensa; Informa Semarnat acciones para cumplir compromisos de mitigación de GEI. Retrieved from <http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php/noticias/2131-informasemarnat-acciones-para-cumplir-compromisos-de-mitigacion-degei>.

SEMARNAT. (2015b). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030, Instrumentación. Retrieved from <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/compromisos-de-mitigacion-yadaptacion-2020-2030>. SENER &

SEMARNAT. (2016). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estrategia Nacional de Calidad del Aire, ENCA. Visión 2017-2030. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia_Nacional_Calidad_del_Aire.pdf

Söderholm, P., Hildingsson, R., Johansson, B., Khan, J., & Wilhelmsson, B. (2011). Governing the transition to low-carbon futures: A critical survey of energy scenarios for 2050. *Futures*, 46(10), 1105–1116.

Tovilla, J., Buirra, D., Barthélemy, P., & Spinazzé, L. (2015). Pathways to deep decarbonization in Mexico. SDSN-IDDRI (Sustainable Development Solutions Network and Institute for Sustainable Development and International Relations).

UNAM (2016). Universidad Nacional Autónoma de México. Reporte Mexicano de Cambio Climático: Emisiones y Mitigación de Gases de Efecto



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Invernadero. Retrieved from

http://www.pincc.unam.mx/reportemexico/reporte_mex.php

Vázquez, A. L. (2015). Desarrollo y perspectivas de energía renovable en México. *Economía Informa*, 390, 132–135.

[https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(15\)30010-4](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(15)30010-4)

Vidal-Amaro, J. J., Østergaard, P. A., & Sheinbaum-Pardo, C. (2015). Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources - The case of the Mexican electricity system. *Applied Energy*, 150, 80–96. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.133>

Vijaya Venkata Raman, S., S. Iniyar, and R. G. (2012). A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652–2670.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

APÉNDICES

Apéndice A Listado de centrales de generación eléctrica.



Dirección de Operación
Subdirección de Generación

may-18

Listado de Centrales Generadoras

Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.H. Plutarco Elías Calles (El Novillo)	Sonora	Hidroeléctrica	135.000
C.H. Oviáchic	Sonora	Hidroeléctrica	19.200
C.H. Mocúzari	Sonora	Hidroeléctrica	9.600
C.H. 27 de Septiembre (El Fuerte)	Sinaloa	Hidroeléctrica	59.400
C.H. Gral. Salvador Alvarado (Sanalona)	Sinaloa	Hidroeléctrica	14.000
C.H. Humaya	Sinaloa	Hidroeléctrica	90.000
C.H. Bacurato	Sinaloa	Hidroeléctrica	92.000
C.H. Raúl J. Marsal (Comedero)	Sinaloa	Hidroeléctrica	100.000
C.H. Luis Donald Colosio (Huites)	Sinaloa	Hidroeléctrica	422.000
C.T. Puerto Libertad	Sonora	Vapor	632.000
C.T. Carlos Rodríguez Rivero (Guaymas II)	Sonora	Vapor	484.000
C.T. Juan de Dios Bátiz Paredes (Topolobampo)	Sinaloa	Vapor	320.000
C.T. José Aceves Pozos (Mazatlán II)	Sinaloa	Vapor	616.000
C.TG. Caborca	Sonora	Turbogás	42.000
C.TG. Cullacán	Sinaloa	Turbogás	30.000
C.C.I. Yécora	Sonora	Combustión Interna	1.800
C.C.C. Hemosillo	Sonora	Ciclo Combinado	227.022
C.T. Presidente Juárez (Rosarito)	Baja California	Vapor	320.000
C.C.C. Presidente Juárez (Rosarito)	Baja California	Ciclo Combinado	743.000
C.TG. Tijuana	Baja California	Turbogás	345.000



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.T. Punta Prieta II	Baja California Sur	Vapor	112.500
C.G. Cerro Prieto	Baja California	Geotermoelectrica	570.000
C.TG. Ciudad Constitución	Baja California Sur	Turbogás	33.220
C.TG. Mexicali	Baja California	Turbogás	62.000
C.TG. Cárpes	Baja California	Turbogás	27.430
C.TG. La Paz	Baja California Sur	Turbogás	43.000
C.C.I. Santa Rosalia	Baja California Sur	Combustión Interna	5.000
C.C.I. Gral. Agustín Olachea A. (Pto. San Carlos)	Baja California Sur	Combustión Interna	104.125
C.C.I. Baja California Sur I	Baja California Sur	Combustión Interna	162.700
C.C.I. Guerrero Negro II (Vizcalno)	Baja California Sur	Combustión Interna	10.800
C.TG. Guerrero Negro II (Vizcalno)	Baja California Sur	Turbogás	14.000
C.G. Tres Virgenes	Baja California Sur	Geotermoelectrica	10.000
C.TG. Los Cabos	Baja California Sur	Turbogás	84.660
C.E. Guerrero Negro	Baja California Sur	Eoloelectrica	0.600
C.S.FV. Cerro Prieto	Baja California	Solar Fotovoltaica	5.000
C.S.FV. Santa Rosalia	Baja California Sur	Solar Fotovoltaica	1.000
C.T. Francisco Villa	Chihuahua	Vapor	300.000
C.T. Benito Juárez (Samalayuca)	Chihuahua	Vapor	316.000
C.C.C. Samalayuca II	Chihuahua	Ciclo Combinado	521.760
C.C.C. Gómez Palacio	Durango	Ciclo Combinado	239.800
C.TG. Parque [TG. Juárez]	Chihuahua	Turbogás	59.000
C.TG. Industrial [TG. Juárez]	Chihuahua	Turbogás	18.000
C.T. Guadalupe Victoria (Lerdo)	Durango	Vapor	320.000
C.TG. Chávez [TG. Laguna - Chávez]	Coahuila	Turbogás	28.000



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.T.G. La Laguna [TG. Laguna - Chávez]	Durango	Turbogás	56.000
C.C.C. Chihuahua II (El Encino)	Chihuahua	Ciclo Combinado	619.400
C.H. Boquilla	Chihuahua	Hidroeléctrica	25.000
C.H. Collina	Chihuahua	Hidroeléctrica	3.000
C.T. José López Portillo (Río Escondido)	Coahuila	Carboeléctrica	1,200.000
C.T. Carbón II	Coahuila	Carboeléctrica	1,400.000
C.C.C. Pdte. Emilio Portes Gil (Río Bravo)	Tamaulipas	Ciclo Combinado	211.123
C.T. Pdte. Emilio Portes Gil (Río Bravo)	Tamaulipas	Vapor	300.000
C.C.C. Hulnalá	Nuevo León	Ciclo Combinado	377.660
C.T.G. Hulnalá	Nuevo León	Turbogás	150.000
C.C.C. Hulnalá II (Monterrey II)	Nuevo León	Ciclo Combinado	471.180
C.T.G. Universidad [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	24.000
C.T.G. Leona [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	24.000
C.T.G. Fundidora [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	12.000
C.T.G. Tecnológico [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	26.000
C.T.G. Mondolva	Coahuila	Turbogás	48.000
C.H. La Amistad	Coahuila	Hidroeléctrica	66.000
C.H. Falcón	Tamaulipas	Hidroeléctrica	31.500
C.H. Infemillo	Michoacán	Hidroeléctrica	1,200.000
C.H. Villita	Michoacán	Hidroeléctrica	320.000
C.H. Cupatitzio	Michoacán	Hidroeléctrica	80.000
C.H. Cóbano	Michoacán	Hidroeléctrica	60.000
C.H. Platanal	Michoacán	Hidroeléctrica	12.600
C.H. Botello	Michoacán	Hidroeléctrica	18.000



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.H. Tirlo	Michoacán	Hidroeléctrica	1.096
C.H. Bartolinas	Michoacán	Hidroeléctrica	0.750
C.H. Itzicuaro	Michoacán	Hidroeléctrica	0.624
C.H. Zumpilito	Michoacán	Hidroeléctrica	8.400
C.H. San Pedro Porúas	Michoacán	Hidroeléctrica	2.560
C.H. Puente Grande	Jalisco	Hidroeléctrica	9.000
C.H. Colimilla	Jalisco	Hidroeléctrica	51.200
C.H. Luis M. Rojas (Intermedia)	Jalisco	Hidroeléctrica	5.320
C.H. Gral. Manuel M. Diéguez (Santa Rosa)	Jalisco	Hidroeléctrica	70.000
C.H. Jumatán	Nayarit	Hidroeléctrica	2.180
C.H. Valentín Gómez Farias (Agua Prieta)	Jalisco	Hidroeléctrica	240.000
C.H. Aguamilpa Solidaridad	Nayarit	Hidroeléctrica	960.000
C.H. Leonardo Rodríguez Alcaine (El Cajón)	Nayarit	Hidroeléctrica	750.000
C.H. Alfredo Elias Ayub (La Yesca)	Nayarit	Hidroeléctrica	750.000
C.T. Gral. Manuel Álvarez Moreno (Manzanillo)	Colima	Vapor	1,300.000
C.C.C. Gral. Manuel Álvarez Moreno (Manzanillo)	Colima	Ciclo Combinado	1,453.908
C.T. Pde. Plutarco Elias Calles (Petacalco)	Guerrero	Carboeléctrica	2,778.360
C.G. Los Azufres	Michoacán	Geotermoeléctrica	225.000
C.T. Villa de Reyes	San Luis Potosí	Vapor	700.000
C.C.I. Hulcot	Nayarit	Combustión Interna	1.180
C.H. Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol)	Guerrero	Hidroeléctrica	600.000
C.H. El Durazno [Sist. Hidroeléctrico Miguel Alemán]	Estado de México	Hidroeléctrica	0.000
C.H. Ixtapantongo [Sist. Hidroeléctrico Miguel Alemán]	Estado de México	Hidroeléctrica	0.000
C.H. Santa Bárbara [Sist. Hidroeléctrico Miguel Alemán]	Estado de México	Hidroeléctrica	22.525



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.TG. Coapa	Ciudad de México	Turbogás	32.000
C.TG. Iztapalapa	Ciudad de México	Turbogás	32.000
C.TG. Magdalena	Ciudad de México	Turbogás	32.000
C.TG. Santa Cruz	Ciudad de México	Turbogás	32.000
C.T. Altamira	Tamaulipas	Vapor	500.000
C.T. Pdte. Adolfo López Mateos (Tuxpan)	Veracruz	Vapor	2,100.000
C.T. Poza Rica	Veracruz	Vapor	117.000
C.C.C. Dos Bocas	Veracruz	Ciclo Combinado	452.000
C.G. Humeros	Puebla	Geotermoelectrica	68.600
C.T. Mérida II	Yucatán	Vapor	168.000
C.TG. Mérida II	Yucatán	Turbogás	30.000
C.T. Lerma	Campeche	Vapor	112.500
C.TG. Nachi-Cocom	Yucatán	Turbogás	30.000
C.TG. Cancún	Quintana Roo	Turbogás	102.000
C.TG. Nizuc	Quintana Roo	Turbogás	88.000
C.TG. Xul-Ha	Quintana Roo	Turbogás	39.700
C.TG. Ciudad del Carmen	Campeche	Turbogás	47.000
C.C.I. Hol-Box	Quintana Roo	Combustión Interna	3.200
C.T. Felpe Carrillo Puerto (Valladolid)	Yucatán	Vapor	75.000
C.C.C. Felpe Carrillo Puerto (Valladolid)	Yucatán	Ciclo Combinado	220.000
C.TG. Chankanaab	Quintana Roo	Turbogás	53.000
C.E. Yuuml'ik	Quintana Roo	Eoloelectrica	1.500
C.H. Mazatepec	Puebla	Hidroelectrica	220.000
C.H. Temascal	Oaxaca	Hidroelectrica	354.000



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.H. Tuxpango	Veracruz	Hidroeléctrica	36.000
C.H. Chilapan	Veracruz	Hidroeléctrica	26.000
C.H. Camilo Arriaga (El Salto)	San Luis Potosí	Hidroeléctrica	18.000
C.H. Encanto	Veracruz	Hidroeléctrica	10.000
C.H. Electroquímica	San Luis Potosí	Hidroeléctrica	1.440
C.H. Ixtaczoquiltán	Veracruz	Hidroeléctrica	1.600
C.H. Micos	San Luis Potosí	Hidroeléctrica	0.688
C.H. Minas	Veracruz	Hidroeléctrica	15.000
C.H. Texolo	Veracruz	Hidroeléctrica	1.600
C.H. Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Chiapas	Hidroeléctrica	2,400.000
C.H. Malpaso	Chiapas	Hidroeléctrica	1,080.000
C.H. Belisario Domínguez (Angostura)	Chiapas	Hidroeléctrica	900.000
C.H. Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Chiapas	Hidroeléctrica	420.000
C.H. José Cecilio del Valle	Chiapas	Hidroeléctrica	21.000
C.H. Bombaná	Chiapas	Hidroeléctrica	5.240
C.H. Tamazulapan	Oaxaca	Hidroeléctrica	2.480
C.H. Schpoiná	Chiapas	Hidroeléctrica	2.240
C.E. La Venta	Oaxaca	Eololéctrica	84.200
C.N. Laguna Verde	Veracruz	Nucleoléctrica	1,608.000
Productores Independientes de Energía			
C.C.C. Mérida III AES Mérida III, S. de R.L. de C.V. A. en P.	Yucatán	Ciclo Combinado	484.000
C.C.C. Hermosillo Fuerza y Energía de Hermosillo, S.A. de C.V.	Sonora	Ciclo Combinado	250.000
C.C.C. Saltillo Central Saltillo, S.A. de C.V.	Coahuila	Ciclo Combinado	247.500
C.C.C. Tuxpan II Electricidad Águila de Tuxpan, S. de R.L. de C.V.	Veracruz	Ciclo Combinado	495.000



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Central Generadora	Entidad Federativa	Tipo de Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.C.C. Río Bravo II (Anáhuac) Central Anáhuac, S.A. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	495.000
C.C.C. Bajío Energía Azteca VIII, S. de R.L. de C.V.	Guanajuato	Ciclo Combinado	495.000
C.C.C. Monterrey III Iberdrola Energía Monterrey, S.A. de C.V.	Nuevo León	Ciclo Combinado	449.000
C.C.C. Altamira II Electricidad Águila de Altamira, S. de R.L. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	495.000
C.C.C. Tuxpan III y IV Fuerza y Energía de Tuxpan, S.A. de C.V.	Veracruz	Ciclo Combinado	983.000
C.C.C. Campeche Energía Campeche, S.A. de C.V.	Campeche	Ciclo Combinado	252.400
C.C.C. Mexicali Energía Azteca X, S. de R.L. de C.V.	Baja California	Ciclo Combinado	489.000
C.C.C. Chihuahua III Energía Chihuahua, S.A. de C.V.	Chihuahua	Ciclo Combinado	259.000
C.C.C. Naco-Nogales Fuerza y Energía de Naco-Nogales, S.A. de C.V.	Sonora	Ciclo Combinado	258.000
C.C.C. Altamira III y IV Iberdrola Energía Altamira, S.A. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1,036.000
C.C.C. Río Bravo III Central Lomas de Real, S.A. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	495.000
C.C.C. La Laguna II Iberdrola Energía La Laguna, S.A. de C.V.	Durango	Ciclo Combinado	498.000
C.C.C. Río Bravo IV Central Valle Hermoso, S.A. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	500.000
C.C.C. Valladolid III Compañía de Generación Valladolid, S. de R.L. de C.V.	Yucatán	Ciclo Combinado	525.000
C.C.C. Tuxpan V Electricidad Sol de Tuxpan, S. de R.L. de C.V.	Veracruz	Ciclo Combinado	495.000
C.C.C. Altamira V Iberdrola Energía del Golfo, S.A. de C.V.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1,121.000
C.C.C. Tamazunchale Iberdrola Energía Tamazunchale, S.A. de C.V.	San Luis Potosí	Ciclo Combinado	1,135.000
C.C.C. Norte Durango Fuerza y Energía de Norte Durango, S.A. de C.V.	Durango	Ciclo Combinado	450.000
C.E. Oaxaca III C.E. Oaxaca Tres, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.000
C.E. Oaxaca II C.E. Oaxaca Dos, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.000
C.E. Oaxaca IV C.E. Oaxaca Cuatro, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.000
C.E. Oaxaca I C.E. Oaxaca Uno, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.000
C.E. La Venta III Energías Renovables Venta III, S.A. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.850
C.C.C. Norte II KST Electric Power Company, S.A. P.I. de C.V.	Chihuahua	Ciclo Combinado	433.000
C.E. La Mata Energías Renovables La Mata, S.A. P.I. de C.V.	Oaxaca	Eoloelectrónica	102.000



Apéndice B Inclusiones al MOE.

Modelo de Optimización Energética

La demanda energética del Sector Eléctrico Mexicano (SEM), representada por la expresión F_{demand} (GWh), se propone modelar en función de la contribución energética proveniente de fuentes fósiles y limpias, así mismo se incorporan valores de eficiencia energética para cada una de las tecnologías de generación eléctrica y representada por la expresión $E^{Efic-tec}$. Lo anterior se logra empleando las siguientes expresiones:

$$F_{demand} = F^{Fósil} + F^{Limpia} \quad (1)$$

Donde F_{demand} representa la demanda nacional total de energía del sector eléctrico y cuyas unidades son GWh, $F^{Fósil}$ representa la contribución de energía proveniente de fuentes fósiles a la demanda nacional y F^{Limpia} representa la contribución de energía proveniente fuentes limpias a la demanda nacional, en las mismas unidades, GWh.

Cada una de estas fuentes se modelará independientemente considerando una desagregación en función del tipo de combustible que emplean así como el número total de centrales, además de otros variables.

La contribución de las fuentes fósiles se representa mediante la expresión (2)

$$F^{Fósil} = F^{Fósil-comb} + F^{Fósil-diesel} + F^{Fósil-gas} + F^{Fósil-carbón} \quad (2)$$

Y en cuya expresión $F^{Fósil-comb}$ es la energía proveniente del combustóleo, $F^{Fósil-diesel}$ es la energía proveniente del diesel como combustible, $F^{Fósil-gas}$ es la energía proveniente de usar gas como combustible, y adicionando a esta $F^{Fósil-carbón}$ la energía proveniente de usar carbón, para satisfacer la demanda nacional.

La contribución de la energía proveniente de fuentes limpias se modelaría mediante la expresión (3),

$$F^{Limpia} = F^{Limpia-sol} + F^{Limpia-ftv} + F^{Limpia-geot} + F^{Limpia-hidr} + F^{Limpia-nucleo} \quad (3)$$

En donde $F^{Limpia-sol}$ es la energía proveniente de fuentes eólicas, la $F^{Limpia-ftv}$ es la energía proveniente de fuentes fotovoltaicas, $F^{Limpia-geot}$ es la energía proveniente de fuentes geotérmicas, $F^{Limpia-hidr}$ es la energía proveniente de fuentes hidráulicas e incluyendo $F^{Limpia-nucleo}$ proveniente de fuentes nucleares.

La contribución de la energía eléctrica proveniente combustóleo $F^{Fósil-comb}$, se determinará empleando la expresión (4)

$$F^{Fósil-comb} \leq F^{Fósil-comb-inst} + F^{cap-fósil-comb} * \chi^{Fósil-comb} * 8.760 * E^{Efic-tec-comb}$$

(4)



Donde $F^{Fósil-comb-inst}$ es la energía ya instalada requerida para satisfacer la demanda nacional energética de este tipo de fuente (GWh), $F^{cap-fósil-comb}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Fósil-comb}$ es el número de centrales que usan combustóleo para satisfacer el incremento de la demanda. La capacidad de las centrales es manejada en MW y el factor 8.760 es una constante para ajustar las unidades de potencia a energía en el periodo de análisis, en esta expresión se adiciona $E^{Efic-tec-comb}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación de combustóleo.

La contribución de la energía eléctrica proveniente de diesel como fuente fósil $F^{Fósil-diesel}$, se determinará empleando la expresión (5).

$$F^{Fósil-diesel} \leq F^{Fósil-diesel-inst} + F^{cap-fósil-diesel} * X^{Fósil-diesel} * 8.760 * E^{Efic-tec-diesel}$$

(5)

donde $F^{Fósil-diesel-inst}$ es la energía ya instalada requerida para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-fósil-diesel}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Fósil-diesel}$ es el número de centrales que usan diesel como fuente energética. Las unidades son las mismas a las descritas en la Ec. (4). Así mismo se incorpora $E^{Efic-tec-diesel}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación usando diesel.

La contribución de la energía eléctrica proveniente de gas como fuente fósil $F^{Fósil-gas}$, se determinará empleando la expresión (6).

$$F^{Fósil-gas} \leq F^{Fósil-gas-inst} + F^{cap-fósil-gas} * X^{Fósil-gas} * 8.760 * E^{Efic-tec-gas}$$

(6)

Donde $F^{Fósil-gas-inst}$ es la energía mínima requerida para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-fósil-gas}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Fósil-gas}$ es el número de centrales que usan gas como fuente energética. Las unidades son las mismas que las usadas en las Ecs. (4) y (5). De igual forma se incorpora $E^{Efic-tec-gas}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación usando gas.

Se incorpora al modelo la contribución de la energía eléctrica proveniente de carbón como fuente fósil $F^{Fósil-carbón}$, se determinará empleando la expresión (7)

$$F^{Fósil-carbón} \leq F^{Fósil-carbón-inst} + F^{cap-fósil-carbón} * X^{Fósil-carbón} * 8.760 * E^{Efic-tec-carbón}$$

(7)

Donde $F^{Fósil-carbón-inst}$ es la energía mínima requerida para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-fósil-carbón}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Fósil-carbón}$ es el número de centrales que usan carbón como fuente energética. Las unidades



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



son las mismas que las usadas en las Ecs. (4), (5) y (6). De igual forma se incorpora $E^{Efic-tec-carbón}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación usando carbón.

La contribución energética de las tecnologías limpias que usan como fuentes energía la energía eólica se determinan como:

$$\frac{F^{Limpia-sol}}{E^{Efic-tec-sol}} \leq F^{Limpia-sol-inst} + F^{cap-limpia-sol} * X^{Limpia-sol} * 8.760 *$$

(8)

donde $F^{Limpia-sol-inst}$ es la energía ya instalada mínima requerida para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-limpia-sol}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Limpia-sol}$ es el número de centrales que usan energía eólica para producir electricidad. Las unidades se consideran de la misma forma que en las contribuciones de las fuentes fósiles. De igual forma se incorpora $E^{Efic-tec-sol}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación a partir de viento.

La contribución energética de las tecnologías que usan fuentes limpias de energía fotovoltaica se determina como sigue:

$$\frac{F^{Limpia-ftv}}{E^{Efic-tec-ftv}} \leq F^{Limpia-ftv-inst} + F^{cap-limpia-ftv} * X^{Limpia-ftv} * 8.760 *$$

(9)

donde $F^{Limpia-ftv-inst}$ es la energía instalada mínima requerida para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-limpia-ftv}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Limpia-ftv}$ es el número de centrales que usan energía fotovoltaica para producir electricidad. Se incorpora $E^{Efic-tec-ftv}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación a partir de fotovoltaicos.

La contribución de las tecnologías que usan energía geotérmica para la generación de electricidad se determina como sigue:

$$\frac{F^{Limpia-geot}}{E^{Efic-tec-geot}} \leq F^{Limpia-geot-inst} + F^{cap-limpia-geot} * X^{Limpia-geot} * 8.760 *$$

(10)

donde $F^{Limpia-geot-inst}$ es la energía instalada mínima necesaria para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-limpia-geot}$ es la capacidad de las centrales a adicionar y $X^{Limpia-geot}$ es el número de centrales que usan energía geotérmica para producir electricidad. Las unidades se consideran de la misma forma que en las contribuciones de las fuentes



fósiles. Se incorpora $E^{Efic-tec-geot}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación a partir de geotermia.

La contribución de energía hidráulica a la demanda nacional de energía se determina como sigue:

$$F^{Limpia-hidro} \leq F^{Limpia-hidro-inst} + F^{cap-limpia-hidro} * X^{Limpia-hidro} * 8.760 * E^{Efic-tec-hidro}$$

(11)

donde $F^{Limpia-hidro-inst}$ es la energía mínima instalada necesaria para satisfacer la demanda nacional energética con este tipo de fuente, $F^{cap-limpia-hidro}$ es la capacidad de las centrales y $X^{Limpia-hidro}$ es el número de centrales que usan energía hidráulica para producir electricidad. Las unidades se consideran de la misma forma que en las contribuciones de las fuentes fósiles. Se incorpora $E^{Efic-tec-hidro}$ la eficiencia energética de las tecnologías de generación a partir del agua.

La generación de energía eléctrica, tiene un costo asociado que se determina usando expresiones presentadas a continuación. El costo de la demanda total de energía es la suma de los costos de emplear fuentes fósiles y fuentes renovables, es decir,

$$Cost_{demand} = Cost^{Fósil} + Cost^{Limpia} \quad (12)$$

El costo total del uso de las energías fósiles se determina sumando los costos de las contribuciones por cada tipo de energético fósil, usando la expresión (13).

$$Cost_{Fósil} = Cost^{Fósil-Comb} + Cost^{Fósil-diesel} + Cost^{Fósil-gas} + Cost^{Fósil-carbón} \quad (13)$$

La contribución de las fuentes renovables a la demanda de energía nacional es importante y por lo tanto el costo de producción de éstas también. Este costo es determinado de forma independiente como a continuación se presenta.

El costo total de la producción energética con fuentes limpias es la suma de los costos de las contribuciones de las distintas fuentes energéticas, representado por la ecuación (14).

$$Cost_{Limpia} = Cost^{Limpia-eol} + Cost^{Limpia-ftv} + Cost^{Limpia-geot} + Cost^{Limpia-hidro} + Cost^{Limpia-nucleo}$$

(14)

El costo de producción de la energía a partir de fuentes fósiles, específicamente del combustóleo, $Cost^{Fósil-Comb}$, se determina usando la expresión (15).



$$Cost_{Fósil-comb} = F^{Fósil-comb} (a^{Fósil-comb} + b^{Fósil-comb} + c^{Fósil-comb}) \quad (15)$$

donde se observa la dependencia de la energía proveniente de este energético, $F^{Fósil-comb}$, así como de tres diferentes costos: $a^{Fósil-comb}$, $b^{Fósil-comb}$ y $c^{Fósil-comb}$ siendo a el costo de inversión de la tecnología analizada, b el precio del tipo de combustible usado en la tecnología analizada y finalmente c el costo asociado a la operación y mantenimiento de cada tipo de tecnología donde se incluyen tanto gastos fijos como variables. Los coeficientes a , b y c varían dependiendo del tipo de combustible empleado así como de la tecnología empleada, las unidades de cada coeficiente son USD/MWh producido [Referencia 6].

El costo de producción de la energía proveniente de diesel, $Cost_{Fósil-diesel}$, se determina de forma análoga al costo empleando combustóleo, es decir, usando la expresión (16).

$$Cost_{Fósil-diesel} = F^{Fósil-diesel} (a^{Fósil-diesel} + b^{Fósil-diesel} + c^{Fósil-diesel}) \quad (16)$$

donde se observa la misma dependencia de la energía proveniente de este energético, $F^{Fósil-diesel}$, así como de los coeficientes a , b y c correspondientes para este tipo de combustible.

El costo de la energía fósil proveniente de gas natural, $Cost_{Fósil-gas}$, está expresado en la ecuación (17).

$$Cost_{Fósil-gas} = F^{Fósil-gas} (a^{Fósil-gas} + b^{Fósil-gas} + c^{Fósil-gas}) \quad (17)$$

considerando la misma dependencia de la energía proveniente de este energético así como de los coeficientes a , b y c correspondientes a este tipo de fuente energética.

El costo de producción de la energía eólica, $Cost_{Limpia-eol}$, se determina utilizando la misma expresión que las otras fuentes: con la cantidad de energía generada de esta fuente energética, $F^{Limpia-eol}$, además de los coeficientes a , b y c correspondientes a este tipo de energético (18)

$$Cost_{Limpia-eol} = F^{Limpia-eol} * (a^{Limpia-eol} + b^{Limpia-eol} + c^{Limpia-eol}) \quad (18)$$

El costo de producción de energía limpia de tipo fotovoltaica, $Cost_{Limpia-ftv}$, se calcula utilizando la expresión (19).

$$Cost_{Limpia-ftv} = F^{Limpia-ftv} * (a^{Limpia-ftv} + b^{Limpia-ftv} + c^{Limpia-ftv}) \quad (19)$$

Sin olvidar los correspondientes coeficientes a , b y c así como la energía producida con esta fuente energética, $F^{Limpia-ftv}$.

El costo de producción de la energía eléctrica a partir de la geotérmica, $Cost_{Limpia-geot}$, se determina de forma análoga al costo de fuentes fósiles, es decir, usando la expresión (20).



$$Cost_{Limpia-geot} = F^{Limpia-geot} * (a^{Limpia-geot} + b^{Limpia-geot} + c^{Limpia-geot}) \quad (20)$$

con los correspondientes coeficientes a, b y c así como la cantidad de energía eléctrica producida con energía geotérmica.

El costo de producción de la energía eléctrica utilizando la energía hidroeléctrica, $Cost_{Limpia-hidro}$ se determina usando la expresión 21 con coeficientes a, b y c correspondientes a este tipo de fuente energética.

$$Cost_{Limpia-hidro} = F^{Limpia-hidro} * (a^{Limpia-hidro} + b^{Limpia-hidro} + c^{Limpia-hidro}) \quad (21)$$

El costo de producción de la energía eléctrica utilizando la energía nuclear, $Cost_{Limpia-nucleo}$ se determina usando la expresión 22 con coeficientes a, b y c correspondientes a este tipo de fuente energética.

$$Cost_{Limpia-nucleo} = F^{Limpia-nucleo} * (a^{Limpia-nucleo} + b^{Limpia-nucleo} + c^{Limpia-nucleo}) \quad (22)$$

Adicionalmente al costo de producción energética, se calcula la emisión de CO₂eq producidos para cumplir con de la demanda nacional, EF_{demand} . La emisión se determina para los distintos combustibles o fuentes energéticas, tanto $EF^{Fósil}$ como también los generados de fuentes limpias, EF^{Limpia} . Se propone adicionar el término $EF^{Evitadas}$ que cuantifique las emisiones evitadas por el uso de tecnologías más eficientes. La expresión propuesta para este objetivo se presenta en la ecuación (23)

$$EF_{demand} = EF^{Fósil} - EF^{Evitadas} + EF^{Limpia} \quad (23)$$

Los contaminantes generados por utilizar diferentes tipos de tecnología se terminarán de forma individual iniciando con las emisiones de las fuentes fósiles, $ECO_{2eq} EF^{Fósil}$,

$$EF^{Fósil} = EF^{Fósil-comb} + EF^{Fósil-diesel} + EF^{Fósil-gas} + EF^{Fósil-carbón} \quad (24)$$

donde $EF^{Fósil-comb}$ son las emisiones del CO₂eq debido al uso del combustóleo, $EF^{Fósil-diesel}$ son las emisiones de CO₂eq debido al uso de diesel, $EF^{Fósil-gas}$ son las emisiones de CO₂eq debido al uso de gas natural y las $EF^{Fósil-carbón}$ son las emisiones de CO₂eq debido al uso de carbón.

Los contaminantes por utilizar diferentes tipos de tecnología limpia también son determinados, aunque su contribución es mínima pero cuantificable, se determinan de forma individual

$$EF^{Limpia} = EF^{Limpia-sol} + EF^{Limpia-ftv} + EF^{Limpia-geot} + EF^{Limpia-hidro} + EF^{Limpia-nucleo} \quad (25)$$



Las emisiones de $EF^{Fósil-comb}$ de CO_{2eq}, se plantea determinarlas usando la ecuación (26).

$$EF^{Fósil-comb} = ECO_{2eq-fósil-comb} * F^{Fósil-comb} \quad (26)$$

donde $ECO_{2eq-fósil-comb}$ es la emisión de CO_{2eq} producida por unidad de energía al utilizar este tipo de combustible, es decir, Kg/MWh.

Análogamente, las emisiones de $EF^{Fósil-diesel}$ de CO_{2eq}, se calculan usando la ecuación (27).

$$EF^{Fósil-diesel} = ECO_{2eq-fósil-diesel} * F^{Fósil-diesel} \quad (27)$$

donde $ECO_{2eq-fósil-diesel}$ es la emisión de contaminantes por usar este tipo de combustible.

Las emisiones de $EF^{Fósil-gas}$, se determinan con la ecuación (28).

$$EF^{Fósil-gas} = ECO_{2eq-fósil-gas} * F^{Fósil-gas} \quad (28)$$

Donde $ECO_{2eq-fósil-gas}$ es la emisión de contaminante al utilizar este tipo de fuente energética. Los parámetros de CO_{2eq}-combustible son específicos para cada tipo fuente energética [1,3].

Se propone anexar:

$$EF^{Fósil-carbón} = ECO_{2eq-fósil-carbón} * F^{Fósil-carbón} \quad (29)$$

Así poder cuantificar la emisión de contaminante al utilizar este tipo de fuente energética.

Las emisiones de $EF^{Limpia-sol}$, se determinan usando la ecuación (30)

$$EF^{Limpia-sol} = ECO_{2eq-limpia-sol} * F^{Limpia-sol} \quad (30)$$

donde $ECO_{2eq-limpia-sol}$ es la emisión por unidad de energético al utilizar este tipo de combustible.

Para determinar las emisiones de $ECO_{2eq-limpia-ftv}$, se plantea usar la ecuación (31).

$$EF^{Limpia-ftv} = ECO_{2eq-limpia-ftv} * F^{Limpia-ftv} \quad (31)$$

donde $ECO_{2eq-limpia-ftv}$ es la emisión por unidad del energético al utilizar este tipo de combustible.

Las emisiones de $EF^{Limpia-geot}$, se calculan usando la ecuación (32).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



$$EF^{Limpia-geot} = ECO_{2eq-limpia-geot} * F^{Limpia-geot} \quad (32)$$

donde $ECO_{2eq-limpia-geot}$ es la cantidad de emisiones emitidas por unidad energético de tipo de fuente.

Las emisiones de $EF^{Limpia-hidro}$, se calculan usando la ecuación (33).

$$EF^{Limpia-hidro} = ECO_{2eq-limpia-hidro} * F^{Limpia-hidro} \quad (33)$$

donde $ECO_{2eq-limpia-hidro}$ es la cantidad de emisiones emitidas por cada unidad de energía producida utilizando un energético específico.

Se propone anexar:

$$EF^{Limpia-nucleo} = ECO_{2eq-limpia-nucleo} * F^{Limpia-nucleo} \quad (34)$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

ANEXOS

Anexo 1 Participación en congresos

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS




 Congreso Nacional
de Investigación en
Cambio Climático
7


 El Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM, en su calidad de Coordinador General del Séptimo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático otorga la presente

CONSTANCIA

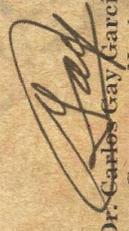
a

Yarated Aguilar Ayora

Por su participación como expositor de poster del

Séptimo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático

La presentación de poster denominado "Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad del Aire armonizadas a Sustentabilidad Energética" dentro de la exposición de posters de la Sede Temática de energías renovables en el contexto de cambio climático en las instalaciones de El Colegio de Chihuahua.


 Dr. Carlos Gay García
 Séptimo Congreso Nacional de
 Investigación en Cambio Climático
 Coordinador General

Ciudad Juárez, Chihuahua
El Colegio de Chihuahua, 4 de Octubre de 2017



OTORGA LA PRESENTE CONSTANCIA A

YARATZED AGUILAR AYORA

POR SU PARTICIPACIÓN EN EL CICLO DE CONFERENCIAS DEL

FORO INTERNACIONAL DE ENERGÍA MÉXICO 2017

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO NOVIEMBRE 2017


ENRIQUE ARIAS VELASCO
PRESIDENTE COMITÉ ORGANIZADOR
FIE M


DRA. KARLA GABRIELA CEDAMO VILLAVICENCIO
SECRETARÍA DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UNAM


MTR. LUIS BERNARDO NAVA GUERRERO
JEFE DE LA OFICINA DE LA GUBERNATURA
GOBIERNO DEL ESTADO DE QUERÉTARO



GOBIERNO DEL ESTADO DE
QUERÉTARO
ESTAMOS VOSOTROS



IER
INSTITUTO DE ENERGÍAS
RENOVABLES DE LA UNAM



netgas
GAS NATURAL VINCULADO



M Consultores



Powered by
amx Group



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ)

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

Yaratzed Aguilar Ayora, Yuraima Morales Montes, Antonio Rodríguez Martínez, Rosenberg J. Romero Domínguez, Gabriela Hernández Luna

Por la presentación del trabajo:

ESTRATEGIAS NACIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y CALIDAD DEL AIRE ARMONIZADAS PARA LA SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA

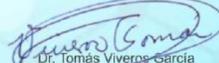
ID: 461

“La Ingeniería Química como motor de la innovación”




Dr. Juan Gabriel Segovia Hernández
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR


Dr. Miguel Ángel Morales Cabrera
PRESIDENTE NACIONAL AMIDIQ


Dr. Tomás Viveros García
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

San José del Cabo, B.C.S., México 1 al 4 de Mayo de 2018



Campus Guanajuato

División de Ciencias
Naturales y Exactas
Departamento de
Ingeniería Química



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



IV REUNIÓN NACIONAL
DE LA RED TEMÁTICA EN BIOENERGÍA
XIII DE LA RED MEXICANA DE BIOENERGÍA

3ER TALLER SMIBIO: BIOREFINERÍAS DE PEQUEÑA ESCALA PARA EL DESARROLLO RURAL EN AMÉRICA LATINA Y EUROPA

TALLER POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EL DESARROLLO DE LA BIOENERGÍA EN ÁREAS RURALES DE CUBA Y MÉXICO

MORELOS
15, 14 & 15 DE NOVIEMBRE 2017

La Red Temática de Bioenergía y La Red Mexicana de Bioenergía
Otrorga la presente

CONSTANCIA

A: A. RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, YARATZED AGUILAR AYORA, YURAIMA MORALES
MONTES, G. HERNÁNDEZ LUNA, R.J. ROMERO

POR SU PARTICIPACIÓN EN LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO:

MÉXICO: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL USO DE LA BIOENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO AL 2050

M. en I. Rodolfo Díaz Jiménez
Presidente REMBIO

Dr. Alfredo Martínez Jiménez
Presidente del Comité Organizador

Dr. Agustín Jaime Castro Montoya
Representante Técnico RTB



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



UNIVERSIDAD OLMECA
Raíz de Sabiduría

La Universidad Olmeca A. C. otorga la presente

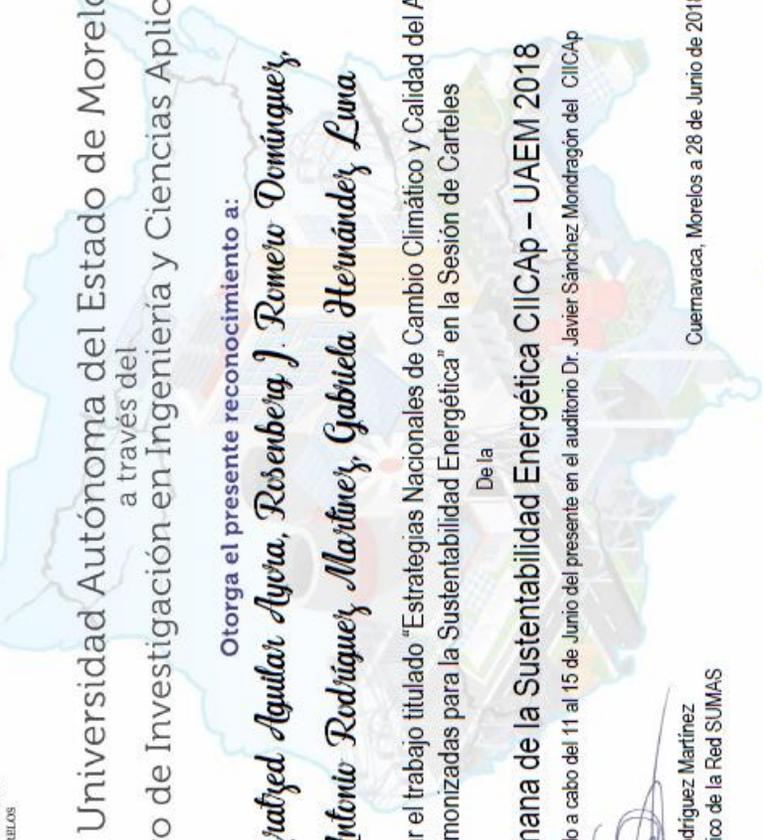
Constancia

A: YARATZED AGUILAR AYORA

Por su asistencia al
1er Encuentro Internacional sobre Energías Renovables y Sustentabilidad,
llevado a cabo del 25 al 27 de abril de 2018.

Ing. Naur Ávila Estrada
Director Académico de Ingenierías y Tecnologías

Villahermosa, Tabasco, abril de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Instituto de
Ciencias
Básicas y
Aplicadas



CIICAp



SEMAR
a la
Sostenibilidad
2018

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
a través del
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

*Yaritzyed Aguilar Ayra, Rosenberia J. Romero Domínguez,
Antonio Rodríguez Martínez, Gabriela Hernández Luna*

Por presentar el trabajo titulado "Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad del Aire
Armonizadas para la Sustentabilidad Energética" en la Sesión de Carteles
De la
Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018











La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
a través del Cuerpo Académico:
UAEMOR-100 "Diseño, ingeniería e impacto de los Procesos"

Otorgan la Presente **CONSTANCIA** a:

YARATZED AGUILAR AYORA

Por su participación en el:

**"Segundo Encuentro de la Red Temática en
Sustentabilidad Energética, Medioambiente y Sociedad (Red SUMAS)"**

Llevado a cabo del 22 al 25 Noviembre del presente en el auditorio de César Carrizales de la UAEM.
Cuernavaca, Morelos a 25 de Noviembre de 2016



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red SUMAS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Anexo 2 Cursos



IDOM INGENIERÍA

Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

A

Yaratzed Aguilar Ayora

por su destacada participación en el
TALLER REFORMA ENERGÉTICA Y OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN EN ENERGÍAS SUSTENTABLES
CIUDAD DE MÉXICO
realizado el 19 de octubre 2017, con una duración de 7 horas

MTRA. DIANA VERÓNICA NORIEGA NAVARRETE
Coordinadora PRODETES CDMX
IDOM Consulting








La Universidad Autónoma del Estado de Morelos
 a través del
 Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

Yaritzed Aguilar Ayora
 Por su participación en el curso
 Graphing & Analysis ORIGIN-2018 de una
 duración de 2 h dentro de los Talleres de la Red SUMAS
 En la

Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018
 Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp


 Dr. Antonio Rodríguez Martínez
 Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Anexo 3 Redes temáticas de CONACyT



RED SUMAS Σ^+
"Sustentabilidad energética,
Medioambiente y Sociedad"



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas



CIICAp

RED TEMÁTICA SUMAS

A través de la
Universidad Autónoma del Estado de Morelos
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
y el Cuerpo Académico:
UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

YARATZED AGUILAR AYORA

Por ser miembro Activo de la Red Temática Conacyt de
Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad
"Red SUMAS"
Proyecto 281101
Durante el periodo Enero a diciembre de 2017



Dr. Antonio Rodríguez Martínez
Responsable Técnico de la Red
SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 21 de Noviembre de 2017



CONACyT
Redes Temáticas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS



RED SUMAS Σ^+
"Sustentabilidad energética,
Medioambiente y Sociedad"



Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas



RED TEMÁTICA SUMAS

A través de la

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
y el Cuerpo Académico:

UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

YARATZED AGUILAR AYORA

Por ser miembro Activo de la Red Temática conacyt de
Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad
"Red SUMAS"

Proyecto 293876

Durante el periodo Enero a Diciembre de 2018

Dr. Antonio Rodriguez Martinez
Responsable Técnico de la Red
SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 18 de Noviembre de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
Coordinación de Posgrado en Sustentabilidad Energética

Cuernavaca, Morelos, a 17 de diciembre de 2018.

DR. DIEGO SEURET JIMÉNEZ
COORDINADOR DEL POSGRADO EN
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada “Análisis de sensibilidad de tecnologías limpias en la evaluación de consumos energéticos para dar cumplimiento a las Estrategias Nacionales de Cambio Climático y Calidad del Aire” que presenta la alumna **Yaratzed Aguilar Ayora**, para obtener el título de **Maestría en Sustentabilidad Energética**.

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ	Aprobatorio	
DR. JESÚS CEREZO ROMÁN	Aprobatorio	
DRA. GABRIELA HERNÁNDEZ LUNA	Aprobatorio	
DRA. HELENA CABAL CUESTA	Aprobatorio	
DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ	Aprobatorio	

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.

DSJ*MLGE/nmc