



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**Emisiones de gases de efecto invernadero y su
mitigación en el Valle del Mezquital:
Categoría energía 2005 – 2040**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

María Magdalena Montelongo Reyes

DIRECTORAS:

Dra. Claudia Romo Gómez

Dra. Elena María Otazo Sánchez

Mineral de la Reforma, Hidalgo. Nov. 2015



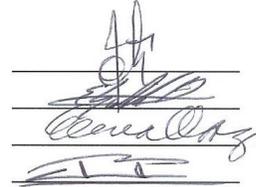
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Dirección
Dean

M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
 DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 P R E S E N T E

Por este conducto le comunico que el Comité Revisor asignado a la alumna M. en C. **Montelongo Reyes María Magdalena**, del "Doctorado en Ciencias Ambientales", con número de cuenta **177330**, que presenta el manuscrito de tesis titulado "**Emisiones de gases de efecto invernadero y su mitigación en el Valle del Mezquital: categoría energía 2005 - 2040**", después de revisar el trabajo antes referido, ha decidido autorizar la impresión del mismo hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se registran las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE	Dr. Alberto José Gordillo Martínez
SECRETARIO	Dr. Eric Galindo Castillo
VOCAL	Dra. Elena María Otazo Sánchez
SUPLENTE	Dra. Claudia Romo Gómez



Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"
 Mineral de la Reforma, Hgo. 18 de Noviembre del 2015.


 Dr. Orlando Ávila Pozos
 Director del ICBI



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts 2231, Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Este trabajo va dedicado con amor a:

Dios:

Gracias Señor por permitirme llegar a este momento.

“Tú me fortaleces y me ayudas, y me sostienes con tu brazo victorioso” (De: Isaías 41, 10)

A mi esposo e hijas:

José, gracias por entrar en mi vida. Te amo. Nuestras hijas y tú son la mayor bendición que Dios me ha concedido. Agradezco tu entrega y tu apoyo incondicional, que siguen inmutables desde que te conozco.

Nayi, Danira y Tania: Son los mejores logros en mi vida ☺. Me siento muy orgullosa de ustedes. Cada una con sus talentos particulares me ha brindado grandes satisfacciones. Las amo.

A mis padres:

Gracias por el ejemplo de vida que nos han dado, por los valores de respeto, honradez, fidelidad, trabajo y servicio que nos inculcaron a mis hermanos (as) y a mí. Gracias por estar pendiente de mi bienestar y por su entrega y amor incondicional.

A mis hermanas y hermanos:

Gracias por su apoyo moral de hoy y de siempre; por sus palabras de aliento que me ayudaron a seguir firme hasta este momento; gracias porque sé que cuento con ustedes en cualquier momento y lugar donde estén. A pesar de la distancia que nos separa y del poco tiempo que nos vemos, sé que el vínculo que nos une permanecerá inalterable para siempre.

Demás familiares y amigos:

Gracias por las muestras de afecto, por los consejos, por los buenos deseos, por los momentos gratos compartidos y por sus oraciones.

A mis compañeros de doctorado:

Gracias por su amistad, por los momentos y emociones compartidos y por sus palabras que me infundieron ánimo y me ayudaron a perseverar.

En memoria de mi tía Conchis. Vives en mi pensamiento.

“A todos y cada uno, Dios los colme de bendiciones”

- A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, representada por el rector, Mtro. Humberto Augusto Veras Godoy.

- A los miembros del comité tutorial:
- Dra. Claudia Romo Gómez, Directora de tesis.
Gracias por su apoyo y por las facilidades otorgadas durante el desarrollo de la investigación.
- Dra. Elena Ma. Otazo Sánchez, Directora de Tesis.
Gracias por sus enseñanzas, por todo su tiempo dedicado para dirigir este trabajo y por la confianza depositada.
- Dr. Eric Galindo Castillo.
Gracias por su tiempo y apoyo en las tareas de investigación y por compartir sus conocimientos.
- Dr. Alberto José Gordillo Martínez.
Gracias por sus acertadas observaciones y por sus comentarios constructivos que ayudaron a mejorar este trabajo.

- Agradezco por los conocimientos adquiridos en las asignaturas impartidas por los catedráticos:
Dra. Yolanda Marmolejo
Dr. Francisco Prieto García
Dr. Otilio Acevedo Sandoval
Dr. Alberto José Gordillo Martínez.

A todas las personas que de alguna forma ayudaron en la consecución de este trabajo, muchas gracias.

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Ciencias Ambientales del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, gracias al financiamiento del siguiente proyecto:



PRODEP (PROMEP) 2013: **“Evaluación del impacto ambiental por actividades antropogénicas: alternativas de mitigación”** dentro de la Red Temática de Investigación: CALIDAD AMBIENTAL Y DESARROLLO SUSTENTABLE.



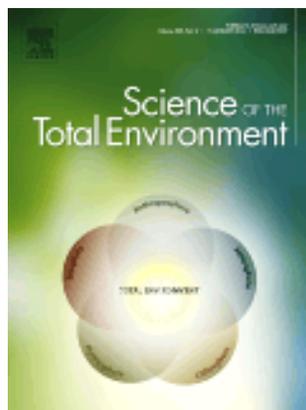
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

SEMARNAT-DPGA-FAEH-161-2011-2012: “Desarrollo e integración del programa estatal de acción ante el cambio climático del estado de Hidalgo (Segunda Etapa)” Provenientes del ramo 16 anexo 31 del Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación, para el ejercicio fiscal 2011.



Por el apoyo económico otorgado por el CONACYT como estudiante del Doctorado en Ciencias Ambientales, perteneciente al Programa Nacional de Posgrado de Calidad con registro del PNPC CONACYT 00312.

Artículo:



GHG and Black Carbon Emissions Inventories from Mezquital Valley: The main energy provider for Mexico Megacity

M.M, Montelongo-Reyes, E.M, Otazo-Sánchez, C. Romo-Gomez, E. Galindo-Castillo, A.J. Gordillo-Martínez.

Revista: Science of the Total Environment 2015. 527–528, 455–464.

DOI:10.1016/j.scitotenv.2015.03.129.

(Factor de Impacto: 4.414)

Publicado: 15 de septiembre de 2015 (WEB: 15 de Mayo de 2015)

Artículos en extenso:

Emisiones Gases de Efecto Invernadero en el Valle del Mezquital: proveedor de Energía de la Ciudad de México.

M.M, Montelongo-Reyes, E.M, Otazo-Sánchez, C. Romo-Gómez, E. Galindo-Castillo, A.J. Gordillo-Martínez.

Memoria: XIII Congreso Internacional y XIX Nacional de Ciencias Ambientales. Acapulco
17-19 de Junio de 2014. ISBN: 978-607-9232-19-1. Pag. 1631-1637

PUBLICADO: 06 de noviembre de 2014

Este Trabajo de Investigación se ha presentado en los siguientes congresos:

XIII Congreso Internacional y XIX Nacional de Ciencias Ambientales. Centro de
Convenciones **Acapulco**, Guerrero. **17-19 de Junio de 2014.**

**Emissiones Gases de Efecto Invernadero en el Valle del Mezquital: proveedor de
Energía de la Ciudad de México.**

M.M, Montelongo-Reyes, E.M, Otazo-Sánchez, C. Romo-Gómez, E. Galindo-Castillo, A.J.
Gordillo-Martínez.

1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. ANTECEDENTES.....	19
2.1 Cambio climático.....	19
2.2 Gases de efecto invernadero, (GEI).....	19
2.2.1 Tendencias en las emisiones de GEI.....	20
2.3 Emisiones de agentes climáticos de corto plazo.....	22
2.3.1 Carbono Negro.....	23
2.3.1.1 Factores de emisión de CN (FE_{CN}).....	23
2.4 Inventario de emisiones GEI.....	23
2.4.1 Inventarios de emisiones de GEI a escala global.....	24
2.4.1.1 Escenarios prospectivos de emisiones, como mecanismos de mitigación....	25
2.4.2 Inventarios de emisiones de GEI en México.....	26
2.4.3 Emisiones de GEI en el Estado de Hidalgo.....	29
2.4.4 Problemática de la zona de estudio.....	31
2.4.4.1 Escenarios de emisiones en el Valle del Mezquital.....	33
3. OBJETIVOS.....	34
3.1 Objetivo General.....	34
3.1.1 Objetivos específicos.....	34
4. PARTE EXPERIMENTAL.....	35
4.1 Caracterización de la zona de estudio.....	35
4.1.1 Delimitación de la zona de estudio.....	35
4.1.2 Descripción de la zona de estudio.....	36
4.1.3 Fuentes de emisión localizadas en el VM.....	37
4.2 Metodologías.....	40
4.2.1 Metodología General para el inventario de emisiones.....	40
4.2.1.1 Fuentes de Emisión.....	40
4.3 Inventario de emisiones de GEI.....	41
4.3.1 Datos de actividad para los inventarios.....	41
4.3.1.1 Transporte.....	43
4.3.1.2 Residencial – Comercial – Institucional y Servicios (RCIS).....	44
a) Leña.....	44
b) GLP (Gas Licuado del Petróleo).....	45
4.3.2. Factores de emisión ($FE's$).....	46

4.3.2.1 Factores de emisión de carbono (FEC).....	46
4.4 Inventario de emisiones de carbono negro	47
4.4.1 Factores de emisión de Carbono Negro (FE _{CN}).....	47
4.4.2 Potencial de Mitigación de emisiones de carbono negro en el VM.....	49
4.4.2.1 Potencial de calentamiento global.....	49
4.4.2.2 Forzamiento radiativo	50
4.5 Factores de conversión	51
4.5.1 Valor Calorífico Neto.....	51
4.5.2 Densidad	52
4.6 Construcción de escenarios en LEAP	52
4.6.1 Construcción del escenario base	53
4.6.1.1 Usos y fuentes en el Valle del Mezquital.....	53
4.6.1.2 Datos de actividad y supuestos del sector integrado: residencial – comercial - turismo – institucional y servicios.....	54
4.6.1.2.1 Consumo energético de leña	54
4.6.1.2.2 Consumo energético de GLP	55
4.6.1.3 Datos de actividad y supuestos del sector transporte	58
4.6.1.3.1 Supuestos del sector transporte para el escenario base	58
4.6.1.3.2 Datos de actividad y supuestos del sector industrial	61
4.6.2 Escenario inercial o BAU (business as usual)	62
4.6.3 Escenarios con medidas de mitigación	64
4.6.3.1 Sector industria de transformación de la energía	64
4.6.3.2 Industria de manufactura	66
4.6.3.3 Sector transporte por carretera	67
4.6.3.4 Sector residencial, comercial, institucional y servicios.....	68
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
5.1 Inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero	70
5.1.1 Fuentes de emisión.....	70
5.1.2 Inventario de emisiones de CO ₂	71
5.1.3 Inventario de emisiones de gases distintos del CO ₂	73
5.1.4 Inventario de carbono negro	75
5.1.5 Emisiones totales en el Valle del Mezquital.....	77
5.1.5.1 Jerarquización de las fuentes de emisión.....	78
5.1.5.2 Potencial de mitigación de emisiones de carbono negro (Gg CO ₂ eq.).....	80

5.1.5.3 Benchmarking de las emisiones de CO ₂	81
5.1.5.3.1 Benchmarking de las emisiones de CO ₂ en la zona de estudio con respecto a las estatales.....	81
5.1.5.3.2 Benchmarking de las emisiones de CO ₂ del Valle del Mezquital, el estado de Hidalgo y México	82
5.2 Escenario inercial o BAU	83
5.3 Escenarios de mitigación.....	98
5.3.1 Escenario “Iluminación”	98
5.3.2 Escenario “Calentador solar”.....	100
5.3.3 Escenario “Estufa Patsari”	104
5.3.4 Escenario NTG: Introducción de una nueva tecnología de generación de electricidad	107
6. CONCLUSIONES	111
7. RECOMENDACIONES.....	113
8. REFERENCIAS	114
ABREVIATURAS	122
GLOSARIO.....	132

Figura 1. Concentraciones atmosféricas de CO ₂ registradas en el Observatorio de Mauna Loa (Consulta en la red en junio de 2015).Fuente: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_data_mlo.png	21
Figura 2. Emisiones totales antropogénicas anuales de GEI por grupos de gases 1970-2010. Fuente: (IPCC, 2014)	22
Figura 3. Emisiones totales de gases de efecto invernadero en los inventarios nacionales de México (Gg de CO ₂ eq.). Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Tercer inventario nacional de emisiones de GEI 1990-2002* (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012).	27
Figura 4. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Gg de CO ₂ eq.), por tipo de gas. Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012).	28
Figura 5. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Gg de CO ₂ eq.), por categoría de emisión. Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012).	28
Figura 6. Emisiones GEI del Estado de Hidalgo por tipo de gas y categoría (Gg). Fuente: (Otazo-Sanchez et al., 2013)	30
Figura 7. Emisiones GEI del Estado de Hidalgo por tipo de gas diferente del CO ₂ y categoría (Gg). Fuente: (Otazo-Sanchez et al., 2013).....	31
Figura 8. Municipios que conforman el Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo.....	36

Figura 9. Fuentes fijas y móviles de emisiones de gases de efecto invernadero en el Valle del Mezquital, año base 2005	70
Figura 10. Emisiones totales de CO ₂ (Gg), por sectores del Valle del Mezquital año 2005	71
Figura 11. Emisiones totales de CO ₂ (Gg), por tipo de combustible quemado en el Valle del Mezquital año 2005.....	72
Figura 12. Emisiones totales de gases distintos de CO ₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005.....	74
Figura 13. Emisiones por sector (izquierda), de SO ₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005	74
Figura 14. Emisiones por tipo de combustible (derecha), de SO ₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005.....	74
Figura 15. Emisiones totales de carbono negro (Gg), por sectores en el Valle del Mezquital año 2005.....	76
Figura 16. Emisiones totales de carbono negro (Gg), por tipo de combustible quemado en el Valle	76
Figura 17. Benchmarking de las emisiones de CO ₂ y otros gases No-CO ₂ en el Valle del Mezquital y el estado de Hidalgo, año base 2005	82
Figura 18. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO ₂ eq.), en valores absolutos por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	84
Figura 19. Potencial de emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero (miles de Gg CO ₂ eq.) por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial	84
Figura 20. Emisiones acumuladas de dióxido de carbono (Miles de Gg CO ₂), por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040	85
Figura 21. Emisiones acumuladas de dióxido de carbono (miles de Gg CO ₂), en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	86

Figura 22. Emisiones acumuladas totales de CO ₂ (miles de Gg) del sector de materiales de construcción en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	86
Figura 23. Emisiones absolutas de dióxido de carbono (Gg CO ₂) de la industria de transformación de energía en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.	87
Figura 24. Emisiones acumuladas de CO ₂ (miles de Gg), de la industria de transformación de energía en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	87
Figura 25. Emisiones acumuladas de CO ₂ (miles de Gg), por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	88
Figura 26. Emisiones acumuladas de metano (miles de toneladas métricas de CH ₄), por el consumo de combustibles en el Valle del Mezquital, periodo 2005-2040.	88
Figura 27. Emisiones acumuladas de metano (Gg de CH ₄) por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040.....	89
Figura 28. Emisiones acumuladas de metano (toneladas métricas de CH ₄) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.....	89
Figura 29. Emisiones acumuladas de metano (miles de toneladas métricas de CH ₄) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	90
Figura 30. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N ₂ O) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.....	90
Figura 31. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N ₂ O) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.....	91
Figura 32. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N ₂ O) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040	91

- Figura 33.** Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N_2O) por tipo de combustible consumido en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040 92
- Figura 34.** Emisiones acumuladas de monóxido de carbono (Gg de CO) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 92
- Figura 35.** Emisiones acumuladas de monóxido de carbono (Gg de CO) por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 93
- Figura 36.** Emisiones acumuladas de óxidos de nitrógeno (Gg de NO_x) por tipo de combustible quemado en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040..... 93
- Figura 37.** Emisiones acumuladas de óxidos de nitrógeno (Gg de NO_x) en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 94
- Figura 38.** Emisiones acumuladas de Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (Gg de COVDM), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 94
- Figura 39.** Emisiones acumuladas de Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (Gg de COVDM) por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 95
- Figura 40.** Emisiones acumuladas de dióxido de azufre (Gg de SO_2), por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 95
- Figura 41.** Emisiones acumuladas de dióxido de azufre (Gg de SO_2), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 96
- Figura 42.** Emisiones acumuladas de carbono negro (Gg de CN), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. 96

Figura 43. Emisiones acumuladas de carbono negro (Gg de CN), por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.	97
Figura 44. Demanda final de energía (millones de GJ), escenario de iluminación en el sector residencial en el Valle del Mezquital.....	100
Figura 45. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO ₂ eq.) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"	101
Figura 46. Emisiones de CO ₂ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar".....	102
Figura 47. Emisiones de CH ₄ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar".....	102
Figura 48. Emisiones de N ₂ O (toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"	103
Figura 49. Emisiones de gases de efecto invernadero (miles de Gg de CO ₂ eq.) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"	105
Figura 50. Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) (millones de toneladas métricas), sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"	105
Figura 51. Emisiones de metano (CH ₄) (miles de toneladas métricas), sector residencial rural en el Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari".....	106
Figura 52. Emisiones de N ₂ O (toneladas métricas) Sector rural del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari".....	106
Figura 53. Emisiones de CO ₂ (millones de toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"	108
Figura 54. Emisiones de metano (CH ₄) (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"	109
Figura 55. Emisiones de N ₂ O (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"	109

Tabla 1. Información de fuentes fijas industriales de GEI en el Valle del Mezquital, año base 2005.....	37
Tabla 2. Datos de actividad para el inventario de GEI en el Valle del Mezquital, año base 2005.....	42
Tabla 3. Factores de emisión de carbono (t C/TJ) usados en el inventario de GEI del Valle del Mezquital, año base 2005	46
Tabla 4. Factores de emisión de carbono negro (g/kg).....	48
Tabla 5. Potencial de calentamiento global y forzamiento radiativo de gases de efecto invernadero y de agentes climáticos de corto plazo	50
Tabla 6. Valores caloríficos netos de los combustibles usados en los inventarios de gases de efecto invernadero y carbono negro del Valle del Mezquital, año base 2005.....	51
Tabla 7. Densidad de los combustibles usados en los inventarios de gases de efecto invernadero y carbono negro del Valle del Mezquital, año base 2005.....	52
Tabla 8. Usos y fuentes de la demanda energética en el Valle del Mezquital, año 2005	54
Tabla 9. Datos de actividad y supuestos del <i>escenario base</i> del sector integrado residencial / comercial / turismo / institucional y servicios del Valle del Mezquital, año 2005.....	56
Tabla 10. Datos de actividad y supuestos del <i>escenario base</i> del sector Transporte por carretera y ferroviario del Valle del Mezquital, año 2005.....	60
Tabla 11. Datos de actividad y supuestos del <i>escenario base</i> del sector industria de manufactura del Valle del Mezquital, año 2005.....	62
Tabla 12. Tasas de crecimiento sectoriales en el Valle del Mezquital.....	63
Tabla 13. Datos de la termoeléctrica del Valle del Mezquital para los escenarios de emisiones hasta el año 2040	64
Tabla 14. Información básica de las termoeléctricas de Tula, Hidalgo.....	65
Tabla 15. Datos de la refinería del Valle del Mezquital para los escenarios de emisiones hasta el año 2040	66
Tabla 16. Datos de Cruz Azul, empresa de la industria del cemento en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040.....	66
Tabla 17. Datos de CEMEX, empresa de la industria del cemento en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040.....	67

Tabla 18. Datos de la industria del transporte por carretera en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040 con acciones de mitigación.	68
Tabla 19. Datos para los escenarios de emisiones hasta el año 2040 del sector integrado: residencial, comercial, institucional y servicios, del Valle del Mezquital	69
Tabla 20. Emisiones totales de gases de efecto invernadero, de carbono negro (CN) y de otros gases contaminantes (Gg) en el Valle de Mezquital, en el año base 2005	77
Tabla 21. Jerarquización de las fuentes de emisión de CO ₂ (Gg) en la categoría energía, por quema de combustibles en el Valle del Mezquital, año base 2005... 78	
Tabla 22. Jerarquización de las fuentes de emisión de carbono negro (Gg) en la categoría energía, por quema de combustibles en el Valle del Mezquital, año 2005	79
Tabla 23. Emisiones totales de carbono negro (Gg) y el potencial de mitigación (Gg CO ₂ eq.) en el Valle de Mezquital, en el año base 2005.....	80
Tabla 24. Benchmarking de las emisiones de CO ₂ , de gases No-CO ₂ y de carbono negro, en el Valle del Mezquital y el estado de Hidalgo. Año base 2005.....	81
Tabla 25. Benchmarking de la intensidad energética y las emisiones per cápita en el Valle del Mezquital – Estado de Hidalgo - México.....	82
Tabla 26. Uso de focos en la iluminación de viviendas en el Valle del Mezquital, tanto urbanas como rurales con servicio de energía eléctrica.....	99
Tabla 27. Porcentajes de participación de fuentes (%) en el uso de <i>calentamiento de agua</i> , del sector residencial del VM, escenario “Calentador solar”	103
Tabla 28. Porcentajes de participación de fuentes (%) en el uso de <i>cocción de alimentos</i> , del sector residencial del VM, escenario “Estufa Patsari”.....	104
Tabla 29. Potencial de mitigación de los escenarios de mitigación en el Valle del Mezquital. Emisiones de gases de efecto invernadero directos (Gg CO ₂ eq.)	110

1. INTRODUCCIÓN

En el Valle del Mezquital confluyen diversos elementos adversos, que durante décadas han caracterizado a esta región como un foco rojo en el aspecto ambiental, tanto a nivel estatal como nacional. Se han realizado numerosos estudios de aire, agua y suelo, debido a los graves problemas de contaminación que prevalecen en la región, principalmente por la irrigación de cultivos con aguas residuales del río Tula, provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), desde hace más de un siglo y asimismo, por la presencia de numerosas empresas contaminantes en el corredor industrial Atitalaquia-Tula-Tepeji del Río.

No obstante la importancia de la contaminación del valle, hasta el momento no se había realizado un estudio acerca de las emisiones gases de efecto invernadero ni de tópicos de cambio climático para el Valle del Mezquital, tal como se presenta en este trabajo. El interés por analizar las emisiones de gases de efecto invernadero, surge a partir de los resultados reportados en el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del estado de Hidalgo, donde indirectamente se señala al valle como el causante principal de estos gases en todo el estado, dentro de la categoría energía.

Con los datos de la demanda de combustibles del año 2005, fue posible realizar el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para el Valle del Mezquital y generar el escenario base para el propio año. Estos resultados establecen un precedente importante en el estado, ya que contribuye a desarrollar una conciencia ambiental más amplia para el Valle del Mezquital, enfocada a su vocación energética. El escenario base es además, el punto de partida para modelar los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero debido a la categoría Energía hasta el año 2040, que permiten analizar de manera integral las perspectivas del modo en que se comporta la demanda energética y se transforma la energía en la zona de estudio sin implementar acciones de mitigación.

Con base a lo anterior, se analizan tres escenarios de mitigación planeados para ser implementados en el valle mediante el Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo (LEAP) herramienta rigurosa recomendada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

2. ANTECEDENTES

2.1 Cambio climático

El cambio climático se ha convertido en un problema mundial debido al acelerado aumento de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente en la última década. Debido a ello se ha despertado una conciencia de colaboración entre los países para frente a este problema común. Hasta el momento, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mantiene vigente el objetivo de “*reducir y estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático*”. El logro de dicho objetivo (y reto) depende del conocimiento preciso de las tendencias de las emisiones de GEI, y de la capacidad colaborativa de los países (incluido México), para alterar estas tendencias (UNFCCC, 2013; UNFCCC, 2015).

El cambio climático y la contaminación atmosférica tienen en común que ambos problemas derivan de una variedad de fuentes antropogénicas clasificadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en las categorías principales: energía; procesos industriales; uso de solventes y otros productos; agricultura; uso de suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura (USCUSS); y residuos (IPCC, 2006; IPCC, 2014a).

2.2 Gases de efecto invernadero, (GEI)

Los GEI poseen una vida útil larga y debido a esto, existen efectos atmosféricos globales. Los principales GEI pactados en el Protocolo de Kioto como objetivos de reducción de emisiones a los países participantes son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Los tres primeros GEI son los más importantes; éstos se conocen como gases “directos”, ya que inducen directamente al forzamiento radiativo y al calentamiento global. La importancia de los GEI consiste en su capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja, lo que genera un cambio en la irradiación neta vertical sobre la tierra; es lo que se conoce como *Forzamiento Radiativo (FR)*. A mayor FR de un GEI, es mayor su potencial de calentamiento (PNUD-FMAM, 2008).

Por otro lado, se conocen como GEI “indirectos” a los gases que contribuyen indirectamente al forzamiento radiativo, por medio de su impacto en la química atmosférica, ya que pueden modificar la formación y/o vida atmosférica de los GEI directos o contribuir a la formación de aerosoles. Los más importantes GEI indirectos son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂). Las emisiones de SO₂ contribuyen a la formación de aerosoles de sulfatos. Además de contribuir indirectamente al forzamiento radiativo, las emisiones de CO, NOx, COVNM y SO₂ son las causas principales del smog, de la lluvia ácida y de la niebla regional, por lo que la recopilación de datos sobre estos gases beneficiará a los programas de monitoreo de la calidad del aire ([PNUD-FMAM 2008](#)).

Los GEI indirectos son asimismo, gases contaminantes conocidos como precursores del ozono troposférico (O₃), el cual se forma mediante reacciones fotoquímicas complejas que tienen lugar en la atmósfera baja (10 a 15 km por encima del suelo), y modifica el tiempo de vida del CH₄.

Además, existen otras “sustancias agotadoras de la capa de ozono” que también actúan como GEI de largo plazo: los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los halones. Estas sustancias son reguladas bajo el marco del Protocolo de Montreal (IPCC, 2014).

2.2.1 Tendencias en las emisiones de GEI

A nivel mundial, el crecimiento económico y de población siguen siendo los impulsores más importantes del aumento de las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles. La figura 1 muestra las concentraciones históricas, (1958 – 2015), de CO₂ en la atmósfera, registradas en el pico de la montaña Mauna Loa en Hawai a una altitud de unos 4.000 metros. Las medidas en esta ubicación, alejada de fuentes locales de contaminación, han demostrado claramente que las concentraciones atmosféricas de CO₂ continúan aumentando. La concentración media de aproximadamente 316 partes por millón por volumen (ppmv) en 1958 se elevó a aproximadamente 369 ppmv en 1998. La variación anual se debe a la absorción de CO₂ por las plantas en crecimiento. La absorción es más alta en la primavera del hemisferio norte.

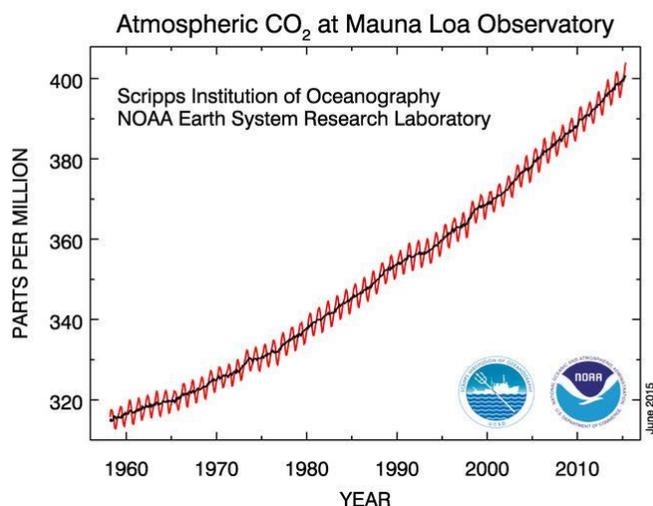


Figura 1. Concentraciones atmosféricas de CO₂ registradas en el Observatorio de Mauna Loa (Consulta en la red en junio de 2015). Fuente:

http://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_data_mlo.png

La figura 2 muestra que a pesar del aumento de las políticas de mitigación del cambio climático, las emisiones anuales de GEI crecieron en promedio 1.0 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂eq), (2.2%) por año desde 2000 hasta 2010 en comparación con 0.4 GtCO₂eq (1.3%) por año desde 1970 hasta 2000. Las emisiones antropogénicas totales de GEI del periodo 1970-2010 tuvieron grandes aumentos decenales absolutos hacia el final de este periodo, 49 (± 4.5) GtCO₂eq / año en 2010.

De estas emisiones, el CO₂ sigue siendo el principal GEI antropogénico, representando el 76% (38 ± 3.8 GtCO₂eq/año) del total de las emisiones antropogénicas de GEI en 2010. 16% (7.8 ± 1.6 GtCO₂eq / año) provino del metano (CH₄), 6.2 % (3.1 ± 1.9 GtCO₂eq/año) a partir del óxido nitroso (N₂O), y el 2.0% (1.0 ± 0.2 GtCO₂eq/año) de los gases fluorados. Cada año, desde 1970, alrededor del 25% de las emisiones de GEI antropogénicas han sido en forma de gases distintos del CO₂ (IPCC, 2014).

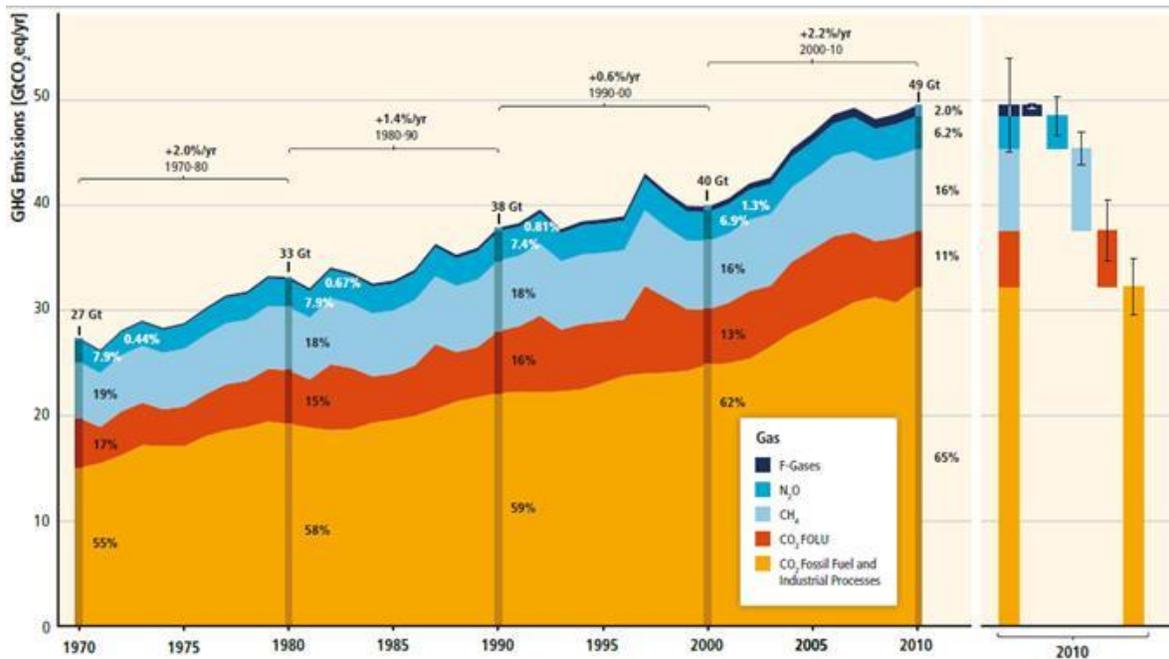


Figura 2. Emisiones totales antropogénicas anuales de GEI por grupos de gases 1970-2010.

Fuente: (IPCC, 2014)

2.3 Emisiones de agentes climáticos de corto plazo

Por otro lado, los científicos recientemente se han centrado en la investigación más profunda sobre los denominados *agentes climáticos de corto plazo* (NTCFs, por sus siglas en inglés: Near-Term Climate Forcers). A diferencia de los GEI, los patrones de comportamiento de los NTCFs y su influencia en el sistema climático son regionales; su impacto sobre el clima se produce principalmente dentro de la primera década después de su emisión.

Este conjunto de compuestos incluye al metano (CH₄), que es también un GEI, así como al ozono (O₃), el carbono negro y algunos hidrofluorocarbonos (HFC). Debido a su corta duración (de unos días a unas pocas décadas), los NTCFs son de interés, dado que los esfuerzos para su control tienen efectos rápidos sobre el calentamiento global, por lo que su influencia en el clima es significativa, y además presentan impactos locales adversos, como en la salud humana (IPCC, 2014; Myhre et al., 2013).

2.3.1 Carbono Negro

Dentro de los NTCFs, el carbono negro (CN) ha sido objeto de atención incremental en las últimas cuatro décadas, debido a que estudios recientes han demostrado que el efecto radiativo que producen sus emisiones influye significativamente en el clima global. El CN es un subproducto de la combustión incompleta de los combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa; absorbe fuertemente la luz solar por unidad de masa como ninguna otra sustancia presente en la atmósfera; reduce el albedo, lo que acelera el derretimiento del hielo y la nieve al depositarse sobre esas superficies; e influye indirectamente en los patrones de precipitación y formación de las nubes (Bond et al., 2004a); (Bond et al., 2013). La mayor afectación local del CN se relaciona con efectos adversos en la salud, debido a que sus aerosoles tienen un gran potencial para absorber compuestos orgánicos carcinogénicos, tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (Ni et al., 2014). Debido a esto, el CN se ha convertido es un tema emergente cada vez más importante, que se está incluyendo en el cálculo de los inventarios nacionales y regionales (INECC-SEMARNAT, 2012).

2.3.1.1 Factores de emisión de CN (FE_{CN})

La mayor parte del carbono en el combustible se convierte en CO_2 durante la combustión, por lo que no es difícil predecir los factores de emisión de CO_2 . Por el contrario, la determinación de los factores de emisión de aerosoles como el carbono negro, ha sido una tarea muy complicada para los investigadores, debido a que las tasas de emisión son muy dependientes del proceso de combustión. Progresivamente, los factores de emisión de CN fueron calculándose y compilándose en la literatura (Cooke et al., 1999; Streets et al., 2001; Bond et al., 2004; Bond et al., 2007; Song et al., 2012, Ni et al., 2014). Los FE_{CN} reportados por algunos de estos investigadores fueron utilizados para calcular el inventario de carbono negro en la zona de estudio, los cuales se presentan en la tabla 4, en la metodología.

2.4 Inventario de emisiones GEI

En un inventario de emisiones de GEI se determina la magnitud de las emisiones y absorciones (por sumidero) de estos gases, cuando son de origen antropogénico.

Un inventario de este tipo se refiere a la tabulación de la cantidad y ubicación de las emisiones, las cuales son estimadas por medio de la combinación de datos de actividad y de factores de emisión, tal como se muestra en la ecuación 1.

$$E = A * FE$$

Ecuación 1

Donde E , representa las emisiones. Los datos de actividad (A), son acciones que producen emisiones, tales como: consumo de combustible, energía utilizada, productos producidos, o hectáreas quemadas. Los factores de emisión (FE) indican cuánta emisión produce dicha actividad (Bond et al., 2004a).

2.4.1 Inventarios de emisiones de GEI a escala global

Aunque son diferentes las responsabilidades de las Partes del Anexo I y No-Anexo I ante la CMNUCC, todos los países firmantes del Protocolo de Kioto comparten el compromiso de presentar periódicamente, los informes actualizados de sus inventarios nacionales de emisiones de GEI. Asimismo, deben proporcionar información de las acciones o medidas de aplicación, a fin de: evitar, absorber o mitigar las emisiones; e incluso, facilitar la adaptación adecuada al cambio climático (UNFCCC, 2015) (http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php). Algunos ejemplos de países adheridos a estos compromisos son India (Garg, Shukla et al. 2006); Japón, China, Corea, and Nepal (Kainuma, Shukla et al. 2012); Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia (Åström et al., 2013); y México (INECC-SEMARNAT, 2012).

Pese a que las emisiones de carbono negro permanecen sin regulación por el Protocolo de Kioto u otros organismos destacados para combatir el cambio climático, últimamente se ha añadido la estimación de las emisiones de carbono negro en los inventarios nacionales de GEI de muchos países. Tal es el caso de México (Commission-for-Environmental-Cooperation, 2012); Estados Unidos (Kirchstetter et al., 2008), (USEPA, 2013); Canadá (Commission-for-Environmental-Cooperation, 2012); Brasil (Galdos et al., 2013); Japón (Kondo et al., 2012) y China (Lee et al., 2013).

2.4.1.1 Escenarios prospectivos de emisiones, como mecanismos de mitigación

La cuantificación de los impactos del cambio climático resulta una tarea muy compleja que implica adoptar modelos científicos que generen escenarios económicos a largo plazo. Asimismo, es preciso admitir márgenes altos de riesgos e incertidumbre en los resultados obtenidos, lo que dificulta su análisis. Por otro lado se deben considerar aspectos que carecen de valor mercantil y no obstante, son fundamentales como la pérdida de biodiversidad o la afectación a la salud. Los países están conscientes que es preciso conjuntar y articular esfuerzos para responder de una forma efectiva a la amenaza que se cierne a escala global, y que tanto los impactos como las respuestas de mitigación y adaptación al cambio climático antropogénico se manifestarán a nivel local (Galindo, 2009).

El informe que publicó Nicholas Stern (Stern, 2006) alertó al mundo de la gravedad del cambio climático antropogénico y su impacto sobre la economía mundial, que urge asimismo a una respuesta mundial. Las pruebas científicas que presentó entonces, fueron y son hoy día irrefutables: inevitablemente el mundo está en la antesala de un inminente aumento de temperatura. La mitigación deberá entenderse como una inversión, un costo presente que evitará consecuencias muy graves en el futuro, especialmente a los sectores más vulnerables de la población. Stern advierte que el costo actual para reducir los impactos del cambio climático es mucho menor que el costo de la inacción. Asimismo, afirma que la adaptación no es un sustituto de la mitigación, sino parte fundamental de la respuesta al cambio climático.

No son suficientes los datos de los inventarios obtenidos con las metodologías del IPCC; los países han recurrido a herramientas de modelación que les permitan visualizar a futuro, los escenarios de emisiones a mediano y largo plazo. El software LEAP (por sus siglas en inglés: Long range Energy Alternatives Planning system), es un sistema de alternativas energéticas de largo plazo que ha sido ampliamente utilizado con este fin en muchos países (Heaps, 2012). LEAP cuenta con el reconocimiento de importantes organismos internacionales, entre los cuales figura el IPCC. Esta herramienta digital es idónea para modelar sistemas energéticos y ambientales, principalmente para evaluar los escenarios de demanda de energía, emisiones, y costos con acciones de mitigación del

cambio climático (Bautista, 2012; Heaps, 2009; Islas et al., 2012; (Bose, 1996; Kumar et al., 2003; Yedla and Shrestha, 2003).

LEAP basa sus escenarios en balances integrales sobre la forma en que se consume, transforma y produce energía en una región o economía determinada, según una gama de hipótesis alternativas de población, desarrollo económico, tecnología, precios, y otras características. Los escenarios son proyecciones sistemáticas de la probable evolución futura de sistemas energéticos a lo largo del tiempo en un contexto demográfico y socio-económico particular y bajo condiciones políticas.

El análisis prospectivo que se realiza en LEAP para construir una línea base de emisiones, así como para modelar las diferentes medidas de mitigación, debe contemplar la tendencia histórica de los siguientes indicadores: la intensidad energética, el porcentaje de energías alternativas en la producción total y las emisiones totales de CO₂e. Antes de proceder a construir el modelo energético correspondiente en LEAP, se debe conocer con cierto nivel de detalle la participación que tienen los diferentes sectores económicos en el consumo final de energía, así como los tipos de combustibles utilizados, ya que de esa manera podremos incluir la contribución de cada sector al total de emisiones y el potencial de mitigación correspondiente (INE/SEMARNAT, 2012).

2.4.2 Inventarios de emisiones de GEI en México

México forma parte de los Países No-Anexo I y se distingue entre éstos por ser el primer país que desde 1998 -que suscribió el protocolo de Kioto-, ha presentado cinco Comunicaciones Nacionales y actualizado otras tantas veces su Inventario Nacional de Emisiones de GEI, en anuencia con los lineamientos y metodologías en vigor del IPCC. La Quinta Comunicación Nacional que presentó México ante la CMNUCC, incluye la actualización del inventario nacional de GEI de 2010 y en forma de anexo, el primer inventario nacional de carbono negro. El país tiene el compromiso de reducir sus emisiones en un 30% para el año 2020 y 50% para el año 2050, respecto a las emisiones del año 2000 (INECC-SEMARNAT, 2012).

Los inventarios nacionales de emisiones de GEI de México contienen además, información de las emisiones de GEI indirectos que contribuyen a la formación del ozono troposférico, tales como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x),

compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂). Las emisiones de CO₂ y SO₂ dependen del contenido respectivo de carbono y azufre en el combustible. Los otros gases dependen de las condiciones de combustión y la tecnología (INECC-SEMARNAT, 2012).

En la figura 3 se presentan las emisiones totales de GEI (en CO₂ eq.) de los cinco inventarios nacionales que se han realizado para México. Se observa una tendencia de crecimiento escalonado en las emisiones de cada inventario. Se tiene un incremento total de 76% en las emisiones de GEI calculadas durante 20 años (de 1990 al 2010).

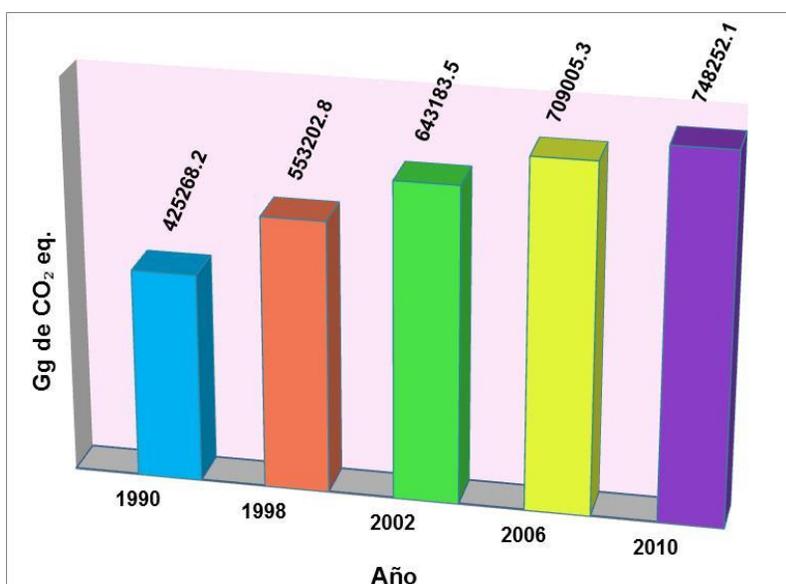


Figura 3. Emisiones totales de gases de efecto invernadero en los inventarios nacionales de México (Gg de CO₂ eq.). Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Tercer inventario nacional de emisiones de GEI 1990-2002* (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012).

***Nota:** En el tercer inventario nacional de emisiones de GEI se actualizó el inventario nacional (INEGEI 1990-2002), aplicando factores de emisión más adecuados a la situación nacional. El INEGEI 1990-2002 sustituyó los inventarios de GEI calculados previamente y a partir del tercer inventario nacional se incluyó al sector de USCUS.

En la Figura 4 se muestran las emisiones de los principales GEI (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆), considerados en los cinco inventarios nacionales que ha reportado México a la CMNUCC.

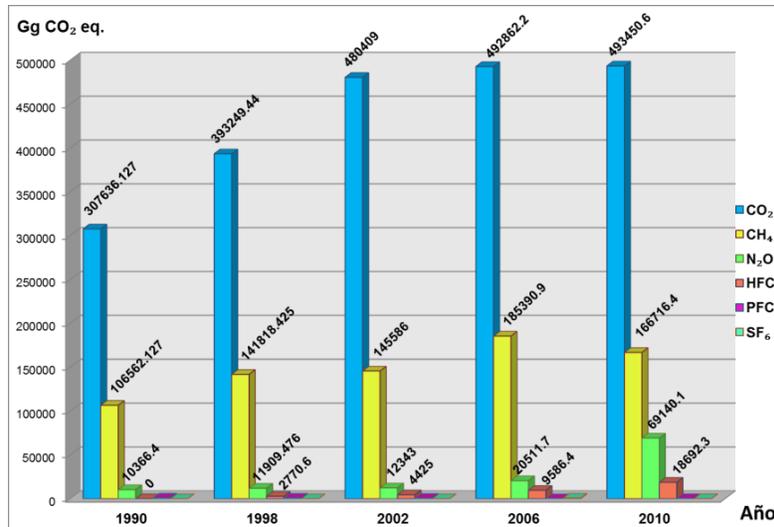


Figura 4. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Gg de CO₂ eq.), por tipo de gas. Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012). Como puede observarse en la Figura 5, de las fuentes de emisión (por consumo de combustibles fósiles), la categoría de energía es la de mayor contribución de emisiones equivalentes de CO₂ en los cinco inventarios nacionales.

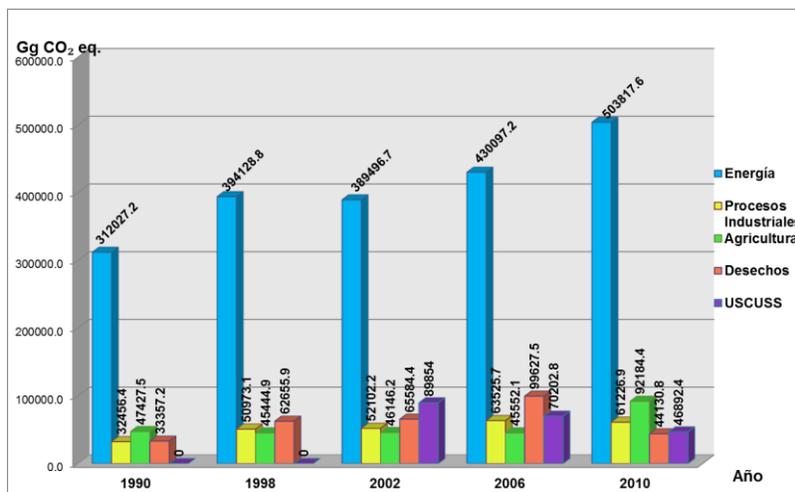


Figura 5. Inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en México (Gg de CO₂ eq.), por categoría de emisión. Gráfico de elaboración propia, con datos recopilados de las siguientes fuentes: Inventarios de 1990, 1998 y 2002: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 (INE-SEMARNAT, 2002). Inventario 2006: Cuarta Comunicación Nacional (INECC, 2006). Inventario 2010: Quinta Comunicación Nacional (INECC-SEMARNAT, 2012).

2.4.3 Emisiones de GEI en el Estado de Hidalgo

Al igual que otros estados de la República Mexicana, el Estado de Hidalgo se adhirió a los compromisos internacionales que tiene México ante la CMNUCC. En el año 2013 se publicó el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo (PEACCH), el cual se desarrolló con base en lineamientos establecidos en los términos de referencia del INECC, para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático, como son los siguientes:

- Guía para la elaboración de Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático.
- Documentos metodológicos del IPCC para realizar inventarios de Emisiones de GEI en las diferentes categorías de emisión.
- Programas de cómputo (Arc GIS) y modelación (LEAP-WEAP) para la predicción de escenarios del clima y de emisiones.

Es la primera vez que se realiza el inventario de emisiones de GEI en el estado de Hidalgo, en el cual se estimaron las emisiones por categorías de fuente y sumidero convenidos por el IPCC, tomando como año base el 2005. Las principales categorías de emisión son: energía, procesos industriales, uso de suelo y cambio de uso de suelo, agricultura y desechos. De éstas, la categoría energía es la que presenta mayores emisiones, debido a la quema de combustibles fósiles. Ésta abarca los sectores de transformación de energía, industrial, transporte, agrícola, residencial- institucional y de servicios.

Los principales gases emitidos en el estado de Hidalgo son CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, COVDM y SO₂. Éstos provienen principalmente de la generación de electricidad; de la refinación de crudo; de procesos de producción de asfalto, sustancias químicas, alimentos y bebidas; de la recuperación de azufre, la pavimentación de carreteras y la impermeabilización de techos. Las emisiones de CO₂ y SO₂ proceden de procesos industriales de producción de cemento, cal, concreto, ferroaleaciones de manganeso y al uso de caliza y carbonatos. La combustión de masa forestal y la conversión de bosques o pastizales emiten CO₂, CH₄, CO y NO_x. El gas metano también se produce por la fermentación entérica y el manejo de estiércol de ganado; y asimismo, por la disposición de residuos sólidos, aguas residuales y presas con aguas negras. El N₂O se emite en los

suelos agrícolas por el uso de fertilizantes y además, se produce por las excretas humanas (Otazo-Sanchez et al., 2013).

La Figura 6 presenta las emisiones de GEI por tipo de gas y categoría. Éstas se calcularon mediante el software del IPCC, con la metodología del año 1996, totalizando 32,194.62 Gg de CO₂ eq. y 135.83 Gg de captura de CO₂, debido al manejo de bosques. Las emisiones de CO₂ superan notablemente las otras emisiones, destacándose las emisiones de la categoría energía (19593.76 Gg de CO₂), que representa el 60.9 % de la emisión de todo el Estado (24,225.42 Gg de CO₂). La categoría Energía también es responsable de la mayor emisión de SO₂ (337.52 Gg), debido principalmente a la quema de combustóleo de muchas industrias.

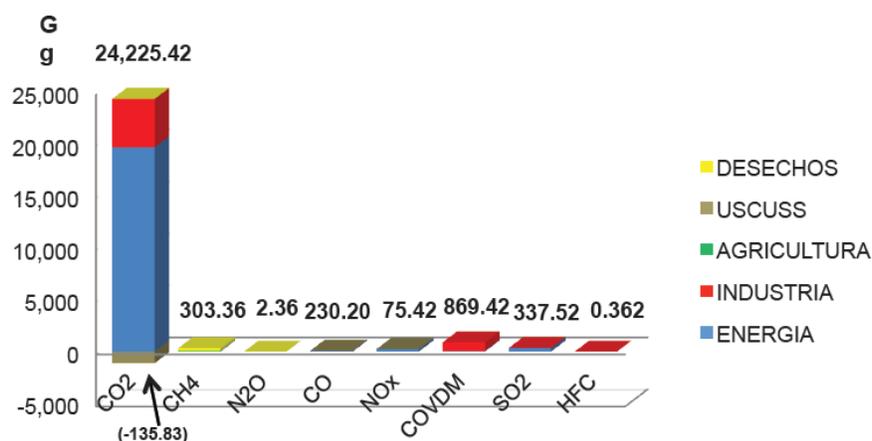


Figura 6. Emisiones GEI del Estado de Hidalgo por tipo de gas y categoría (Gg). Fuente: (Otazo-Sanchez et al., 2013)

En la Figura 7 se muestran las emisiones de gases distintos del CO₂ por categoría de fuente. El CO₂ se ha omitido por razones obvias; así es más evidente la proporción de emisión de cada gas.

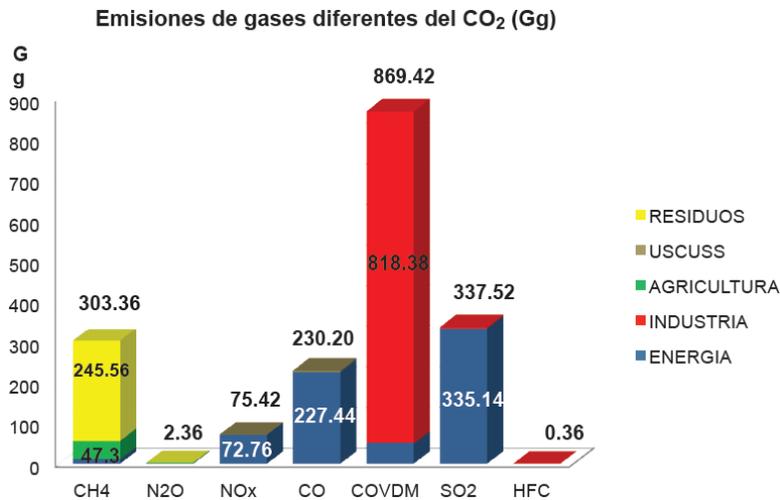


Figura 7. Emisiones GEI del Estado de Hidalgo por tipo de gas diferente del CO₂ y categoría (Gg).
Fuente: (Otazo-Sanchez et al., 2013)

2.4.4 Problemática de la zona de estudio

El Valle del Mezquital (VM) es considerada la región más contaminada del estado de Hidalgo y una de las más contaminadas en el país, debido a las aguas residuales no tratadas de la ZMVM, que se han utilizado durante más de cien años para el riego agrícola (Broszat et al., 2014). Muchos estudios han reportado datos de contaminación atmosférica y de suelos, y sus fuentes principales para la región (Beltran-Hernandez, 2009; Martínez-Carrillo et al., 2010; Otazo-Sanchez et al., 2013; Zambrano García et al., 2009); Chávez et al., 2012; García R et al., 2010; Guédron et al., 2014; Hernández-Martínez et al., 2014; Hernández Suárez, 2012). Paradójicamente, estas fuentes que contaminan el valle, han impulsado asimismo su desarrollo socio-económico. Aunado a lo anterior, otros estudios relacionan al VM, como el principal proveedor de GEI y de compuestos atmosféricos contaminantes en el estado de Hidalgo y en la parte central del país (Otazo-Sanchez et al., 2013; CCAC-MCEE-INECC, 2013).

Pese a ello, no se había investigado sobre las emisiones de GEI en el valle, ni se había realizado una evaluación sobre cambio climático. Debido a lo anterior, el VM fue elegido como caso de estudio para calcular los GEI, además de otros gases distintos del dióxido de carbono (CO₂), y asimismo, las emisiones de carbono negro (CN).

El estado de Hidalgo es uno de los principales proveedores de energéticos de la zona centro del país, lo cual le confiere un papel primordial en el funcionamiento económico de la región, principalmente debido a las industrias de energía en el VM. La ubicación geográfica del VM tan cercana a la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) acentúa por un lado, su papel estratégico en el proceso de transformación energética, y por otra parte, acentúa las problemáticas de cambio climático y de contaminación, por el aporte de emisiones de GEI y de sustancias contaminantes provenientes de las industrias concentradas en la parte sur del valle, cerca de la ciudad de México. Para mantener su papel de suministrador de electricidad y de energéticos secundarios (combustibles derivados del petróleo), que producen la termoeléctrica y la refinería del VM, estas industrias demandan enormes cantidades de combustóleo y gas natural en sus procesos productivos.

La ubicación del Valle del Mezquital (VM), a tan sólo 60 km del noroeste de la ciudad de México, destaca su relevancia como uno de los mayores proveedores de energéticos en la meseta central mexicana. Las industrias que destacan en el valle son: 1) una planta termoeléctrica de tecnología convencional, que es la segunda más importante del país; y 2) una refinería de petróleo, también una de los más grandes del país. Ambas industrias satisfacen las necesidades energéticas de electricidad y combustibles secundarios de más de 29 millones de personas en la región central del país, la cual está compuesta por los estados de Tlaxcala, Puebla, Morelos, Hidalgo, Estado de México y Distrito Federal, e incluye los 21 millones de habitantes en la ciudad de México (DESA, 2014).

En la región del VM, principalmente en el corredor industrial Tula-Tepeji-Atitalaquia, se localizan aproximadamente 140 industrias; entre las empresas más importantes figuran:

- a) La refinería Miguel Hidalgo (325 000 barriles día⁻¹), situada en Atitalaquia y en funcionamiento desde 1976, refinó en el año 2005 petróleo crudo proveniente de las regiones Sur y Sureste del país, en cantidades promedio de 296 miles de barriles diarios. Esta empresa posee una capacidad instalada de 315, 000 de barriles diarios de petróleo crudo en plantas primarias y por ello es la segunda mayor del país. Presenta además varias plantas catalíticas, reformadoras, hidrosulfuradoras, alquiladoras, coquizadoras, entre otras, que la convierten en un complejo industrial enorme. La empresa quema gas natural proveniente de Poza Rica y combustóleo pesado, obtenido en la propia empresa.

- b) La termoeléctrica Francisco Pérez Ríos cuenta con una capacidad instalada 2,095 MW y está ubicada en el municipio de Tula de Allende. Es la segunda planta en generación del país. Posee dos tipos de procesos: el ciclo combinado que consume solamente gas natural y el convencional que consume además de gas natural, el combustóleo pesado suministrado por la refinería del estado. El proceso convencional presenta 5 unidades generadoras con una capacidad instalada de 1,606 MW. El proceso de ciclo combinado incluye 6 unidades más, con una capacidad instalada conjunta de 489 MW. El gas natural proviene del Noreste del país, específicamente de las plantas de gasificación y procesamiento de Poza Rica, Veracruz. Esta planta también posee la tecnología de autogeneración (Otazo-Sanchez et al., 2013).
- b) Otras actividades industriales importantes en el VM: 1) La producción de cemento; las plantas productoras de cemento se localizan en los municipios de Tula de Allende, Atotonilco de Tula y Huichapan. El proceso industrial del cemento, se basa en material de piedra caliza en bruto obtenido en las inmediaciones de las canteras de polvo. El cemento se procesa utilizando combustóleo residual, coque de petróleo y otros materiales de uso generalizado en las cementeras, como son: llantas usadas y residuos industriales. 2) Otras industrias de manufactura; incluyen la fabricación de productos químicos, textiles, alimentos procesados, metales no ferrosos, y la eliminación, reciclado o incineración de materiales de desecho.

2.4.4.1 Escenarios de emisiones en el Valle del Mezquital

La modelación de escenarios futuros de emisiones de GEI en el área de estudio es un aporte novedoso de este trabajo, toda vez que no existía precedente alguno al respecto. Tampoco se habían explorado los escenarios de emisiones contaminantes.

Los escenarios a considerar en el VM son:

1. Escenario base, año 2005. Presenta la situación existente en el VM durante ese año.
2. Escenario inercial o BAU (business as usual), no contempla medidas de mitigación. Este escenario únicamente está regido por las tasas de crecimiento en el VM (población, vivienda, PIB, industria, transporte).
3. Escenarios con las medidas de mitigación en los principales sectores de emisión investigados en la región.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General.

Generar escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de largo plazo y de carbono negro (CN) al 2040 a partir de los inventarios y variables demográficas del año base 2005, mediante metodologías reconocidas internacionalmente para identificar las principales fuentes en la categoría energía y evaluar el potencial de mitigación de las acciones factibles de implementar en el Valle del Mezquital Hidalgo, que proporcionen información científica para el uso de la sociedad en la toma de decisiones de las diferentes instancias de gobierno.

3.1.1 Objetivos específicos

1. Recopilar y analizar información de las fuentes fijas y móviles de la categoría energía para el Valle del Mezquital, Hidalgo del año base 2005.
2. Elaborar el inventario de emisiones de GEI y CN procedentes del Valle del Mezquital en la categoría energía, año base 2005.
3. Establecer el escenario inercial con base a las variables demográficas de los sectores residencial, transporte, industria de manufactura e industria de la transformación de la energía.
4. Modelar los escenarios de demanda energética y de emisiones de GEI, en periodos de cinco años con proyección al año 2040.
5. Analizar las medidas de mitigación factibles de implementar en el sector residencial y de generación de electricidad.
6. Modelar los escenarios de demanda de energía y mitigación de emisiones de GEI, por la penetración de calentadores solares, estufa Patsari y la nueva tecnología de generación eléctrica.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Caracterización de la zona de estudio

De acuerdo a los resultados obtenidos en estudios previos, se señala a la región del Valle del Mezquital (VM), como probable proveedor principal de GEI y de compuestos contaminantes en el estado de Hidalgo y en la parte central del país (Otazo-Sanchez et al., 2013). Asimismo, el VM se considera una zona crítica con graves problemas atmosféricos por las altas emisiones en la zona industrial de Tula-Tepeji-Atitalaquia (CCAC-MCEE-INECC, 2013). Debido a lo anterior, el VM fue elegido como caso de estudio para calcular los gases de efecto invernadero (GEI), otros gases distintos del dióxido de carbono (CO₂) y las emisiones de carbono negro (CN).

4.1.1 Delimitación de la zona de estudio

El VM está compuesto por 27 municipios, los cuales se presentan en la Figura 8 y se listan a continuación: Actopan, Ajacuba, Alfajayucan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Cardonal, Chapantongo, Chilcuautla, El Arenal, Francisco I. Madero, Huichapan, Ixmiquilpan, Mixquiahuala de Juárez, Nopala, Progreso de Obregón, San Agustín Tlaxiaca, San Salvador, Santiago de Anaya, Tasquillo, Tecozautla, Tepeji del Río de Ocampo, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende (Guerrero, 1983 en Filardo, 2002).

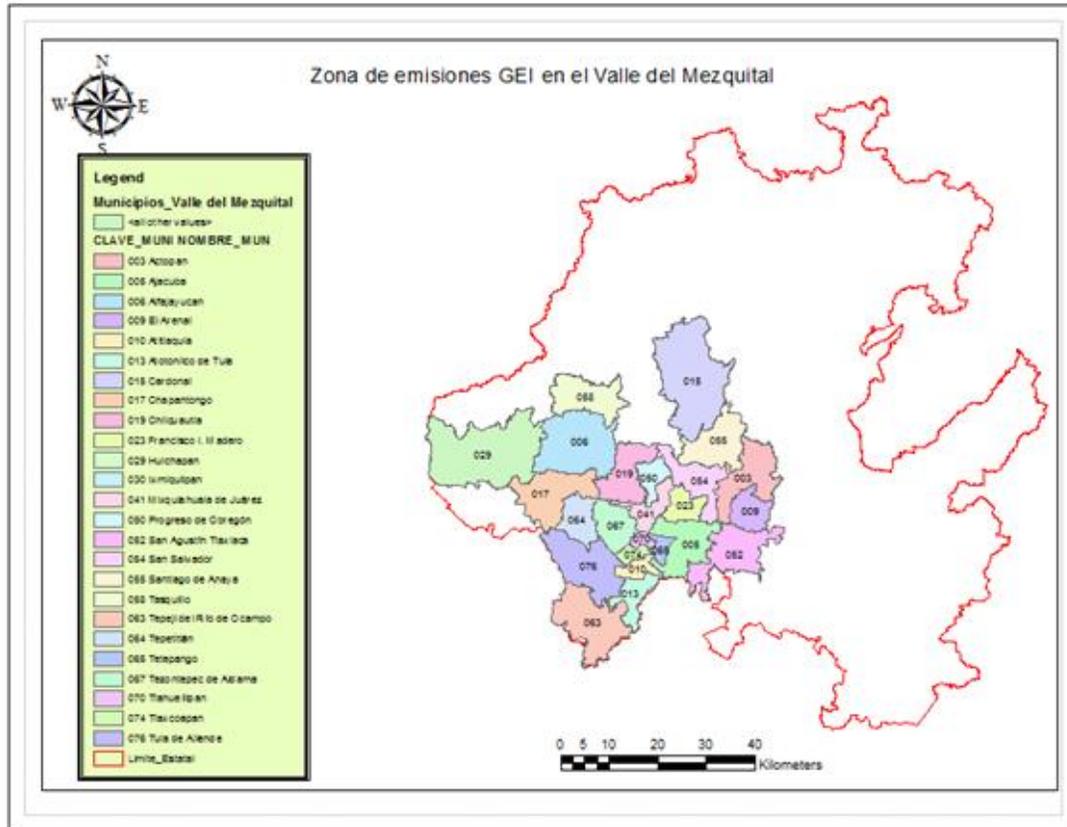


Figura 8. Municipios que conforman el Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo

4.1.2 Descripción de la zona de estudio

El VM se encuentra en el estado de Hidalgo a tan sólo 60 kilómetros al NW de la ciudad de México. Es una región semiárida (2429 km²) con aproximadamente 500 000 habitantes distribuidos en las ciudades de tamaño medio (por ejemplo, Tula y Tepeji del Río) y muchos pueblos pequeños. La temperatura anual media de 16.5 °C y rango de precipitación de 432 mm en la parte norte del valle, que se dedica principalmente a la agricultura y de 17.2 °C y 647 mm en la zona sur, donde se ubican la mayoría de empresas industriales. La altitud media de la llanura agrícola es 2000 msnm, y hasta 2400 m en las montañas de los alrededores. La vegetación del valle original era un matorral xerófilo con el árbol "mezquite", como elemento dominante. Esta vegetación desapareció en las zonas agrícolas y se limita ahora a los montes y tierras altas. En más del 90% de hectáreas del VM se dedican actualmente a la agricultura con aguas residuales de la Ciudad de México. Esta es la causa principal de la contaminación química y biológica de los suelos regionales (Siebe y Cifuentes, 1995).

4.1.3 Fuentes de emisión localizadas en el VM

Las fuentes de emisión de la categoría energía por quema de combustibles fósiles abarca los siguientes sectores: industria de transformación de energía (termoeléctrica y refinería); industria de manufactura (cemento, cal, química, textil, alimentos, metalurgia-siderurgia); sector transporte (en carretera y ferrocarril) y residencial (incluye los sectores: comercio, turismo, institucional y servicios).

La Tabla 1 presenta las fuentes de emisión industriales de GEI, por municipio, ubicadas en el VM. Ésta información se obtuvo de las Cédulas de Operación Anual, "COAS" Federales y Estatales, proporcionada por SEMARNATH. Cabe señalar que no se reportan los datos de actividad (consumos energéticos) de muchas empresas. Las siglas S/D (sin datos), identifica a las empresas que no reportan consumo de combustibles fósiles ni electricidad. Las siglas S/E se refieren a que dichas empresas sólo reportan consumo de electricidad.

Tabla 1. Información de fuentes fijas industriales de GEI en el Valle del Mezquital, año base 2005

MUNICIPIO	EMPRESA	SECTOR	NOTA
Actopan	Comercial Roshfrans S. A. de C. V.	Química	
	Moreno Solares Juan Daniel	Química	S/D
	Corporación Industrial Delta S. A. de C.	Textil	
	Maquiladora Hexa S. A. De C. V.	Textil	
Atitalaquia	PEMEX Refinación Refinería Miguel	Transformación	
	Cerillera la Central S.A. de C.V.	Química	
	Industrias de Hule Galgo S. A. de C. V.	Química	
	Pisa Agropecuaria S.A. de C. V.	Química	
	Agromaquilas S.A. de C.V.	Química	
	Cargill de México S.A. de C.V.	Química	
	Clarimex S.A. de C.V.	Química	
	Koch Materials Mexico S. de R.L. de	Química	
	Barcel S.A. de C.V.	Alimenticio	S/D
	Sigma Alimentos Centro	Alimenticio	
	Construcciones Industriales Tapia S.A.	Metalúrgica	S/D
	Coconal S.A. de C.V.	Comercio	S/D
	Distribuidora de Combustibles	Comercio	S/D
	Gasolinera Camerún ES 4789 Tula 1	Comercio	

(Continuación de tabla 1).

Atotonilco de Tula	Caleras Bertran S.A. de C.V.	Cal	
	Sociedad Cooperativa Cal El Pilar S. C. L.	Cal	
	Oxical S.A. de C.V.	Cal	
	Sociedad Cooperativa Trabajadores Cal El Tigre S. C. de R.L.	Cal	
	Ejido Progreso Planta Hidratadora de Cal Procal 2000	Cal	
	Rogelio León Sánchez	Molienda de piedra caliza	S/E
	CEMEX Concretos S.A. de C.V.	Cemento y cal	S/D
	Cemex México S.A. de C.V. Planta Atotonilco	Cemento	
	Lafarge Cementos S.A. de C.V.	Cemento	
	Union Siderurgica Automotriz S.A. de C.V.	Metalúrgica-siderúrgica	S/D
	Guillermina Morales Durán	Metalúrgica	
	Recuperados Y Reciclados S.A. de C.V.	Química	S/D
	Autotanques Nieto S.A. de C.V.	Comercio (fugas)	S/D
	Distribuidora De Combustóleo de Hgo.	Comercio (fugas)	S/D
El Arenal	Gas de Hidalgo S.A. de C.V. Planta Actopan	Comercio (fugas)	S/E
Francisco I. Madero	EGU S.A. de C.V.	Comercio (fugas)	S/D
	Liquid Química Mexicana S.A. de C.V.	Molienda de piedra caliza	S/D
Huichapan	CEMEX México S.A. De C.V. Planta Huichapan	Cemento	
	Proambiente S.A. de C.V.	Química	S/D
	Sara Lee Moda Femenina	Textil	S/D
Mixquiahuala de Juárez	Calizas y Derivados de Hidalgo S.A de C.V	Cemento y cal	
	Química ATSA S.A. de C.V.	Cemento y cal	
Progreso de Obrejón	Industria DAYI S.A. de C.V.	Cemento y cal	
	Combustibles Modernos de México S.A. de C.V.	Comercio	S/E
San Agustín Tlaxiaca	Productos Básicos S.A. de C.V.	Química	
	Plastimetales S.A. de C.V.	Metalurgia	S/D
	Flama Gas S.A. de C.V.	Comercio (fugas)	S/D

(Continuación de tabla 1).

	Aga Gas S.A De C.V.	Química	S/E
Tepeji del Río	Cristal Laminado O Templado S.A. de C.V.	Química	
	Igasamex Bajío	Química	S/D
	Ngs Enterprises	Química	S/D
	Sistemas Integrales En El Manejo De Residuos	Química	
	Sanity Internacional S.A. de C.V.	Química	
	ALCUSI S.A. de C.V.	Metalúrgica	
	Manufacturas Kaltex S.A. de C.V. Tlautla	Textil	S/D
	Manufacturas Kaltex S.A. de C.V. Tlaxinacalpan	Textil	S/D
	Newcom De Mexico S.A. de C.V.	Textil	S/E
	Procter & Gamble Manufactura S. De R.L. De C.V. Planta Tepeji	Textil	
	Salmitec S.A. de C.V.	Textil	S/D
	Embotellados De Tula S.A. de C.V.	Alimenticio	S/D
	Pilgrims Pride S.A. de C.V.	Alimenticio	S/D
	Maxical S.A. de C.V.	Cal	S/E
	Autotanques Nieto S.A. de C.V.	Comercio (fugas)	S/D
	Combustibles y Gases De Tepeji S.A. de C.V.	Comercio (fugas)	S/D
	Pemex Gas y Petroquímica Básica Terminal de Distribución de Gas Licuado Tepeji	Comercio (fugas)	
	Tula de Allende	Central Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos	Generación de energía eléctrica
Central Termoeléctrica Ciclo Combinado Tula		Generación de energía eléctrica	
Subárea de Transmisión y Transformación Poniente		Generación de energía eléctrica	S/D
Petroquímica Tula S. A. de C. V.		Química	
Hospital General de Tula Petróleos Mexicanos		Química	
Aguas Tratadas de Tula S. de R. L. de C. V.		Química	S/D
Envases y Empaques De México S. A. de C. V.		Química (celulosa y papel)	S/D
Cooperativa La Cruz Azul S.C.L.		Cemento	
Cooperativa Bomintzhá S.C.L		Trituración de cemento	S/D
Pemex Gas y Petroquímica Básica Terminal de Distribución de Gas Licuado Tula		Comercio (Fugas)	S/E
Pemex Refinación Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula Hgo.	Comercio		

Fuente: COAS Estatales (COEDE) / COAS Federales (CD de SEMARNAT)

S/D: Sin datos. No se reportan datos de consumo de combustibles fósiles ni electricidad.

S/E: Solo se reportan datos de consumo de electricidad.

* Incinerador de residuos biológicos infecciosos.

4.2 Metodologías

Se realizaron dos tipos de inventarios:

- a) Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) directos e indirectos.
- b) Inventario de carbono negro

Los inventarios se calcularon mediante la aplicación de metodologías recomendadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). La Ecuación 1 presenta la **metodología general** que se siguió en ambos inventarios, la cual se obtuvo del Manual de Referencia para realizar los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Braatz and Doorn, 2005b). Este manual fue desarrollado en conjunto por diversas instituciones internacionales: UNDP, NCSP, UNFCCC, IPCC, GEF (ver el anexo de abreviaturas, siglas y acrónimos).

4.2.1 Metodología General para el inventario de emisiones

La Ecuación 1 rige la realización de los inventarios, tanto de GEI como de CN.

$$E = D_A * F_E \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde **E** representa las emisiones, expresadas en Gg. **D_A**, los datos de actividad (es decir, la magnitud anual representativa de una fuente, tal como consumo de combustibles, producción o población). **F_E**, el factor de emisión (masa del gas emitido por unidad de actividad) (Braatz and Doorn, 2005a).

4.2.1.1 Fuentes de Emisión

La información necesaria para estimar las emisiones de GEI, de otros gases contaminantes y de Carbono Negro, provino de las principales fuentes de emisión establecidas dentro de la categoría energía. La información subyacente describe los datos de actividad y factores de emisión para desarrollar el inventario de GEI y de otros gases distintos de CO₂; esta información se muestra en las tablas 2 y 3. Los factores de emisión de carbono negro se presentan en la tabla 4 respectivamente.

Para ambos inventarios, la información se organizó por orden de importancia de acuerdo a las emisiones de los siguientes sectores: 1) Industria de transformación de la energía; 2) Industria de manufactura (cemento, cal, química, textil, alimenticia, metalúrgica-siderúrgica); 3) Transporte (por carretera y ferrocarril) y 4) Residencial, comercial y servicios. Estos últimos sectores se calcularon juntos dado que no existen datos diferenciales.

Para el cálculo de emisiones en cada inventario, se consideraron en forma correspondiente: datos de actividad, factores de emisión y factores de conversión de unidades. El dato de actividad en los sectores anteriormente mencionados, consistió en la cantidad de combustibles fósiles consumidos en cada sector del VM durante el año base 2005. En forma conjunta éstos son: gas natural (GN), gas licuado de petróleo (GLP), gasolina, diésel, combustóleo, combustibles formulados y coque de petróleo, expresados en miles de metros cúbicos (Mm³); y leña y llantas usadas, expresados en gigagramos (Gg).

4.3 Inventario de emisiones de GEI

Se utilizó el software de 1996 del IPCC para calcular las emisiones de GEI directos (CO₂, CH₄, N₂O) e indirectos (NO_x, CO, COVDM y SO₂). Las estimaciones de emisiones en el área de estudio se organizaron por sectores, a partir de datos a nivel municipal. El dato de contenido de azufre en los combustibles hizo posible la estimación de emisiones de SO₂. Éste se obtuvo de la Norma Mexicana: NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, “Especificaciones de Combustibles fósiles para la protección ambiental. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 2006 (SEMARNAT-SENER-SCFI, 2006).

4.3.1 Datos de actividad para los inventarios

Los datos de actividad referentes a los consumos energéticos de los combustibles utilizados en el Valle del Mezquital, se resumen en la Tabla 2. Los datos se presentan desglosados por sector de emisión, dentro de la categoría energía (por quema de combustibles fósiles), siendo el consumo de éstos, el principal dato de actividad. Únicamente hay excepción en el caso de la refinería Miguel Hidalgo, que debido a la falta de información, se incluyen como datos de actividad (sin serlo), los datos de “insumos y

producción de energéticos secundarios”, ya que a partir de éstos, se obtiene por diferencia el dato de actividad de interés: el consumo de combustibles.

Asimismo, se explica a detalle la forma de obtención del dato de actividad en casos específicos, cuando la información no está disponible en las COAS estatales o federales.

Tabla 2. Datos de actividad para el inventario de GEI en el Valle del Mezquital, año base 2005

Sector	Combustible	Demanda energética	Cita	Nota/Supuesto
Residencial y otros	Leña	2502.78 TJ (172.77 Gg)	CONAFOR, 2010 / SEDAGROH, 2008 / SERFORH, 2010 / INEGI, 2005 / Otazo et al., 2013) / COAS Estatales	Se obtiene por diferencia del consumo total de leña en el VM y el consumo industrial de leña en ladrilleras del VM.
	GLP	225.02 Mm ³	(SENER, 2008a) / COAS Federales y Estatales	Calculado por proporciones, con los datos estatales de población y consumo de GLP.
Transporte por carretera	Gasolina	288.18 Mm ³	(INEGI, 2006a; Medina Ramírez, 2012; SCT-DGAF, 2005)	Consumo anual (por tipo de vehículo y combustible, en TJ) = (No. Vehículos) (km promedio recorridos) (Eficiencia energética) (% uso de combustible). Los TJ se convierten a Mm ³ para usar la metodología del IPCC.
	Diésel	163.73 Mm ³		
	GLP	5.69 Mm ³		
Ferrocarril	Diésel	8.36 Mm ³		La longitud de la vía férrea que cruza el territorio en el Valle del Mezquital se calculó utilizando el programa ArcGis.
Industria de Manufactura	Combustóleo	256.70 Mm ³	COAS Federales y Estatales / SEMARNATH	
	Diésel	469.33 Mm ³		
	Gas LP	1.59 Mm ³		
	Gasolina	0.0004 Mm ³		
	Gas natural	91485.65 Mm ³		
	Otros Combustibles	8.12 Mm ³		
	Combustibles reformulados	5.48 Mm ³		Suma de "Otros combustibles" y "Combustibles formulados" en
	Coque de petróleo	153.75 Mm ³		
	Leña	24.56 Gg (355.76 TJ)		COAS Estatales 2005
	Llantas usadas	7.3248 Gg	SEMARNAT *	Consumo de llantas en las cementeras. * Consumo estatal de combustibles reformulados

(Continuación de tabla 2)

	Consumo (Mm ³)			
	Combustóleo	651.80	SEMARNAT / COAS federales	Los datos son del año 2006, porque los datos de 2005 son erróneos (son datos de consumo de GLP, no de Gas natural).
Gas Natural	196343.687			
<i>Insumos</i>			El crudo se refina y se producen los combustibles secundarios. No se quema.	
Crudo ligero	11398.79	SIE. Proceso de petróleo crudo y líquidos en refinería	http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=PMXC1C01	
Crudo pesado	5757.19			
Refinería Miguel Hidalgo	Producción			
	Combustóleo	5042.83876	SIE	Elaboración de productos petrolíferos http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=PMXD1C02
	Diésel	3425.532475		
	Gas LP	536.026486		
	Gasolina	6025.199		
	Turbosina (Jet Queroseno)	1304.232		
	Bitumen o Asfalto	255.44967		
Termoeléctrica	Combustóleo pesado	1848.964	CD SEMARNATH	Incluye la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y la de Ciclo Combinado
	Gas natural	1046571.29	CD SEMARNATH	

*Otros: comercial, turismo, institucional y servicios. Mm³: miles de metros cúbicos. TJ: Terajoules

Como se mencionó anteriormente, los datos de actividad para algunos sectores no fue posible conseguirlos de forma directa en las fuentes de información locales; por lo tanto se buscaron alternativas o se formularon supuestos para obtenerlos. Son los casos de los sectores transporte y residencial, para los cuales se construyeron ecuaciones para estimar los respectivos datos de actividad. Éstos se presentan a continuación.

4.3.1.1 Transporte

El dato de consumo de combustibles por tipo de vehículos en el sector transporte no existe; por ello se formularon supuestos para calcular los datos de actividad del transporte por carretera y ferrocarril. La información relacionada se consiguió en dependencias estatales y federales, como son el INEGI y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte

(SCT), entre otras fuentes. La longitud de la vía férrea, que cruza el territorio en el Valle del Mezquital se calculó utilizando el software de Sistemas de Información Geográfica, ArcGIS. Los combustibles consumidos en el sector son. Gasolina, diésel y GLP. La tabla 2 presenta mayor información de los supuestos aplicados en los cálculos.

El dato de actividad para el sector transporte, aplicado **por tipo de vehículo**, se obtuvo por medio de la ecuación 2.

$$D_c = P_v * P_k * E_E * F_C \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde D_c representa el dato de actividad o consumo de combustible (en TJ). P_v , el parque vehicular o cantidad de vehículos. P_k , el promedio de kilómetros recorridos (km/vehículo). E_E , la eficiencia energética (TJ/km), y F_C , la fracción de combustible consumido.

4.3.1.2 Residencial – Comercial – Institucional y Servicios (RCIS)

Se realizó la estimación de las emisiones en los sectores integrados: residencial-comercial-turismo y servicios en el año 2005. Los combustibles más utilizados en estos sectores son el GLP y la leña. No se tiene información de consumo en el Valle del Mezquital, tanto de GLP como de leña, de modo que se formularon supuestos para estimarlos. El procedimiento para la obtención de los datos de actividad de leña y GLP, se describe mediante las ecuaciones 3 y 4 respectivamente.

a) Leña

De las 1189 localidades distribuidas en los 27 municipios del VM, el 95.7% corresponde a localidades rurales, donde comúnmente se utiliza la leña en las actividades domésticas, principalmente para cocinar y para calentar agua. El dato de actividad (L_{VM}), en los sectores integrados RCIS, se calculó con la ecuación 3.

$$L_{VM} = [(A_{VM} * L_H) / A_H] - L_{LVM} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde L_{VM} representa el consumo de leña en el VM (en TJ). A_{VM} , el área o superficie forestal (ha) en el VM (CONAFOR, 2010; SERFORH, 2010). L_H , el consumo de leña en el Estado de Hidalgo (PJ) (SENER, 2010a). A_H , el total de superficie forestal (ha) en el Estado (SEDAGROH, 2008), y L_{LVM} , el consumo de leña (TJ) en las fábricas ladrilleras del VM

b) GLP (Gas Licuado del Petróleo)

Debido a que no está disponible la información para obtener el dato de consumo de GLP en los sectores RCIS del VM (CVM_{RCIS}), este dato se estimó por medio de la ecuación 4, utilizando la información de las ventas totales (V_H) de GLP en el Estado (SENER, 2008b). Para este cálculo se asumieron los siguientes supuestos: A) La venta total de GLP en el Estado de Hidalgo (V_H) del año 2005 se consumió en el mismo; B) el consumo per-cápita (CPC) de GLP en los sectores RCIS es un valor constante para todo el Estado; y C) La demanda de GLP en el sector agrícola es insignificante. Finalmente, el dato de actividad del consumo de GLP en los sectores integrados RCIS, se calculó con la ecuación 4. Para ello se realizaron previamente las ecuaciones 4-1 y 4-2.

$$CH_{RCIS} = V_H - (CH_M + CH_T) \quad (Ec. 4.1)$$

Donde CH_{RCIS} representa el consumo de GLP en el Estado de Hidalgo en los sectores integrados RCIS. V_H , la venta total de GLP en el Estado de Hidalgo (SENER, 2008a). CH_M , el consumo estatal de GLP en la industria de manufactura. CH_T , el consumo estatal de GLP en el sector transporte por carretera (COAS Federales y Estatales, 2005). Todas las cantidades son expresadas en Mm^3 .

Conociendo el consumo estatal de GLP, fue posible calcular el valor de la constante estatal CPC , utilizando la ecuación 4.2.

$$CPC = CH_{RCIS} / P_H \quad (Ec. 4.2)$$

CPC representa el consumo per-cápita de GLP en el Estado de Hidalgo (en Mm^3 /persona Donde), y P_H , la población total del Estado de Hidalgo en el mismo año 2005 (INEGI, 2005).

Finalmente, el dato de actividad CVM_{RCIS} se obtuvo mediante la ecuación 4 que se muestra a continuación:

$$CVM_{RCIS} = P_{VM} * CPC \quad (Ec. 4)$$

Donde CVM_{RCIS} representa el consumo de GLP en el VM (en Mm^3), y P_{VM} , la población del VM del año 2005 (INEGI, 2005).

4.3.2. Factores de emisión (FE's)

Para estimar las emisiones de GEI por categoría de fuente, se utilizaron los FE's proporcionados por defecto por el IPCC para cada combustible y sector (IPCC, 1997). Con estos FE's y con la base de datos obtenida de SEMARNAT (2005-2010), fue posible obtener resultados con un nivel de confianza 1 (Tier 1). El procedimiento Tier 1 es el menos detallado; los FE's utilizados conllevan un elevado grado de incertidumbre, ya que estos factores son obtenidos a partir de información socioeconómica o de actividad general relacionada al sector que genera las emisiones. Los datos de actividad requeridos son tomados de las fuentes nacionales o internacionales de información estadística, como son los Censos Socioeconómicos y de Población, los Balances Nacionales de Energía, los Anuarios Estadísticos de paraestatales como Pemex y CFE y las estadísticas del sistema de Naciones Unidas, (Ordóñez et al., 2010).

4.3.2.1 Factores de emisión de carbono (FEC)

Como se señaló anteriormente en la ecuación 1, además de los datos de actividad, el cálculo de emisiones de GEI precisa asimismo de los datos de factores de emisión de carbono (FEC). En la Tabla 3 se incluyen los valores de los FEC empleados en los inventarios de GEI del VM, para estimar las emisiones de CO₂ y de otros gases distintos del CO₂ (Gg/TJ). Éstos son valores por defecto, tomados del libro de trabajo: Directrices del IPCC para los inventarios de GEI, versión revisada en 1996 (Houghton, 1997), así como de la Metodología del año 2006 (IPCC, 2006a).

Tabla 3. Factores de emisión de carbono (t C/TJ) usados en el inventario de GEI del Valle del Mezquital, año base 2005

Combustible	FEC (t C/TJ)	Fuente
GLP	17.2	(IPCC, 2006)
Leña (TJ/Gg)	29.9	(IPCC, 2006)
Gasolina	18.9	(IPCC, 2006)
Diésel	20.2	(IPCC, 2006)
Combustóleo	21.1	(IPCC, 2006)
Gas natural	15.3	(IPCC, 2006)
Combustibles	19.99	(IPCC, 2006)
Coque de petróleo	27.5	(Houghton, 1997)
Lantas usadas ^b	39	(IPCC, 2006)

^a Factor de emisión de C en t/TJ calculado con el reportado en el cuadro 2-3 del libro de referencias del IPCC 2006, para otros combustibles del petróleo. Dato de 73300 kg gas/TJ convertido a t C/TJ mediante multiplicación por 12/44/1000.

^b El factor de emisión de C en t/TJ para las llantas es calculado con el dato reportado en el cuadro 2-3 del libro de referencias del IPCC 2006 para residuos industriales. Dato de 143000 kg gas/TJ convertido a t C/TJ mediante multiplicación por 12/44/1000.

4.4 Inventario de emisiones de carbono negro

Para los cálculos de CN se aprovechó la misma base de datos de actividad que se utilizó en los cálculos de emisiones de CO² (en Mm³). Las emisiones de CN se obtuvieron mediante la ecuación 5, la cual presenta una variante de la metodología general, donde se tiene el uso de la densidad del combustible, como factor de conversión para llevar el dato de actividad del combustible a la unidad común de Gg.

$$E_{CN} = (D_c * d_c) * FE_{CN}/1000 \quad (\text{Ec. 5})$$

E_{CN} representa las emisiones de carbono negro (en Gg). D_c , el dato de actividad del combustible quemado (miles de m³). d_c , la densidad del combustible (t/m³), y FE_{CN} , el factor de emisión de carbono negro (g/kg).

4.4.1 Factores de emisión de Carbono Negro (FE_{CN})

Para los vehículos a diésel del sector transporte en la zona de estudio, se consideró conveniente utilizar los mismos FE_{CN} utilizados por Song et al, (2012) en las provincias de China, por ser éste un país en vías de desarrollo al igual que México, aun cuando presentan marcadas diferencias[^]. En sus cálculos intervienen factores que determinan una mayor economía del combustible, marcado por el uso de tecnologías más eficientes con dispositivos de control de emisiones, en los cuales se estima un consumo más real considerando factores de ajuste para el estado del vehículo, la calidad del combustible, calidad de las carreteras, etcétera.

[^] En China predominan los distritos rurales, por lo tanto, los tipos de combustible más usados en el sector residencial son leña y residuos agrícolas. Debido a ello, las emisiones mayoritarias se dan en este sector y también en las quemas a cielo abierto de cultivos agrícolas. Consecuentemente, el sector transporte es menos representativo en China que en México.

La Tabla 4 presenta los factores de emisión (en g/kg) utilizados en el inventario de carbono negro (FE_{CN}). Las emisiones de CN procedentes de la quema de llantas usadas en la industria del cemento no se calcularon, debido a la falta de información de los factores de emisión.

Tabla 4. Factores de emisión de carbono negro (g/kg)

Combustible/Sector	FE CN	Cita
Energía		
Combustóleo	0.04	(Bond, 2004)
Gas Natural	0.00	(Bond, 2004)
Industria de Manufactura		
Combustóleo	0.04	(Bond, 2004)
Gas Natural	0.00	(Bond, 2004)
Diésel	0.25	(Ni et al., 2014)
GLP	0.07	(Streets et al., 2001)
Gasolina	0.07	(Streets et al., 2001)
^a Coque de Petróleo	0.0755	(Bond, 2004)
^b Combustibles Formulados	0.25	(Ni et al., 2014)
Leña	0.32	(Bond, 2004)
Transporte		
Gasolina	0.08	(Streets et al., 2001)
^c Diésel	1.65	(Song et al., 2012)
GLP	0.08	(Streets et al., 2001)
Residencial		
GLP	0.2	(Bond, 2004)
Leña	0.85	(Bond, 2004)

a: El FE_{CN} del coque de petróleo usado en la industria no se encontró, por lo tanto se asumió como lignito (brown coal) reportado por Bond et al., (2004). El valor empleado fue 0.0755 g / kg, que corresponde al valor promedio en el rango 0001 a 0.15 g / kg.

b: No se encontraron los FE_{CN} para el diésel reformulado y los combustibles formulados, por lo cual se utilizó en su lugar el FE_{CN} del diésel, 0.25 g/kg. Sin embargo, se asumió para los combustibles formulados, la densidad del diésel reformulado de 0.81 t/m³, cuyo dato se obtuvo de (Castillo-Hernández et al., 2012).

c: El FE_{CN} de 1.65 g/kg para el diésel en el sector transporte representa el valor medio del rango 1-2.3 g/kg citado por (Song et al., 2012), tal como lo propuso (Bond, 2007); una aproximación a este valor fue presentado también por (Lei et al., 2011), y (Ban-Weiss et al., 2010). Asimismo, se encuentra dentro del rango presentado por (Bond, 2005), cuyos valores de FE_{CN} para vehículos diésel son: 0.9 g/kg para vehículos ligeros actuales, 3 g/kg para vehículos ligeros súper emisores y 2 g/kg para camiones antes de regulación.

4.4.2 Potencial de Mitigación de emisiones de carbono negro en el VM

Para complementar la información del inventario de carbono negro, se estimó el potencial de mitigación de carbono negro proyectado a 20 y a 100 años, lo cual requirió a su vez, de los valores de potencial de calentamiento global mostrados en la tabla 5; lo anterior con el propósito de coadyuvar en la preparación de un programa de medidas de reducción de estas emisiones, que sean factibles de implementar en el Valle del Mezquital. La ecuación 6 indica el procedimiento de estos cálculos.

$$PM_{CN} = m_{CN} * PCG_{20,100} - \left(\frac{MCO_2}{MC}\right) * m_{CN} \quad (\text{Ec. 6})$$

PM_{CN} representa el potencial de mitigación de carbono negro (Gg CO₂ eq). m_{CN} , la masa de carbono negro (Gg). $PCG_{20, 100}$, el potencial de calentamiento global del carbono negro (CO₂ eq.) a 20 y 100 años. Se utilizaron los valores de 2000 y 680, los cuales corresponden al PCG de 20 y 100 años respectivamente (Bond, 2007). MCO_2 es la masa molecular del dióxido de carbono (g CO₂). MC es la masa molecular del carbono (g C).

4.4.2.1 Potencial de calentamiento global

El potencial de calentamiento global (PCG, o GWP por sus siglas en inglés “*Global Warming Potential*”), se ha convertido en la métrica por defecto para transferir las emisiones de los diferentes gases que se reportan en los inventarios nacionales, a la escala común de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Debido a ello son llamadas "emisiones equivalentes de CO₂" (Shine, 2009 en (Myhre et al., 2013)). Houghton et al. (1990) presentó los horizontes de tiempo a 20, 100 o 500 años para integrar estas emisiones. Posteriormente, fue adoptado el PCG para un horizonte temporal de 100 años, como una medida para aplicar el enfoque multi-gas incorporado en la CMNUCC y puesto en funcionamiento en el Protocolo de Kioto de 1997 (Myhre et al., 2013). Las investigaciones ahora se centran en descubrir las equivalencias con el CO₂ de importantes NTFCs como son los COVDM; sin embargo, hasta el momento sólo se ha calculado el PCG del carbono negro. La Tabla 5 presenta el PCG de los principales GEI así como del carbono negro. Particularmente, incluye los GEI reportados en los inventarios nacionales de emisiones de GEI de México (INE-SEMARNAT, 2002; INECC, 2006).

4.4.2.2 Forzamiento radiativo

Adicionalmente, en la Tabla 5 se incluyó el forzamiento radiativo (FR) de los principales gases de efecto invernadero y de agentes climáticos de corto plazo, debido a la importancia que tiene el CN en el sistema climático global. El CN es considerado el segundo más grande contribuyente al calentamiento global, toda vez que el FR directo de la luz que absorbe el CN, aproximadamente $+1.1 \text{ Wm}^{-2}$, sólo es superado por el dióxido de carbono (Bond et al., 2013). Al respecto, Bond, et al (2013) afirma que la mitigación de carbono negro es la mejor opción para frenar el cambio climático a corto plazo, pero también deben reducirse las emisiones de dióxido de carbono para resolver realmente el problema climático a largo plazo. En el último informe anual (AR5) del grupo de trabajo I del IPCC, los expertos reportaron en forma separada, valores del FR de CN como sigue: a) Por quema de combustibles fósiles y biocombustibles, el FR de CN resultó ser de $+0.4$ ($+0.5$ to 0.8) Wm^{-2} , y b) por quema de biomasa, el valor de FR de CN es $+0.2$ ($+0.03$ to $+0.4$). En la Tabla 5 se presentan éstos y otros valores de FR, especialmente de los principales GEI y NTCFs analizados en los inventarios nacionales.

Tabla 5. Potencial de calentamiento global y forzamiento radiativo de gases de efecto invernadero y de agentes climáticos de corto plazo

GEI	Fórmula Química	Tiempo de Vida (Años)	PCG (Horizonte de tiempo)			Forzamiento Radiativo W m^{-2}
			20 años	100 años	500 años	
Dióxido de carbono	CO_2	Variable	1	1	1	$(1.82 \pm 0.19)^c$
Metano	CH_4	12 ± 3	56	21	6.5	$(0.48 \pm 0.05)^c$
Óxido nitroso	N_2O	120	280	310	170	$(0.17 \pm 0.03)^c$
HFC-23	CHF_3	264	9100	11700	9800	0.0043^c
HFC-125	C_2HF_5	32.6	4600	2800	920	0.0022^c
HFC-134a	CH_2FCF_3	14.6	3400	1300	420	
HFC-143a	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	48.3	5000	3800	1400	0.0019^c
HFC-236fa	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$	209	5100	6300	4700	
Perfluorometano	CF_4	50000	4400	6500	10000	0.004^c
Perfluorobutano	C_4F_{10}	2600	4800	7000	10100	
Perfluorohexano	C_6F_{14}	3200	5000	7400	10700	
Perfluoroetano	C_2F_6	10000	6200	9200	14000	0.001^c
Hexafluoruro de	SF_6	3200	16300	23900	34900	0.0041^c
Ozono Troposférico	O_3					$(0.4 \pm 0.2)^c$
Carbono negro		1 semana ^a	2000 ^b	680 ^b	-	1.1^a
Combustibles fósiles y biocombustibles						$0.4 (+ 0.5 \text{ a } 0.8)^{c,a}$
Biomasa						$0.2 (+ 0.03 \text{ a } 0.4)^{a,d}$

Fuente principal: Segundo Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC (IPCC, 1996). Los valores usados de PCG (a 100 años), continúan vigentes hasta el último informe de evaluación (AR5) del IPCC (IPCC, 2014).

Otras fuentes:

^a (Bond et al., 2013)

^b (Bond, 2007)

^c (Myhre et al., 2013)

^d (Boucher et al., 2013)

4.5 Factores de conversión

En ambos inventarios realizados para el Valle del Mezquital (GEI y CN), fue necesario el uso de factores de conversión de unidades de los combustibles, como son el Valor Calorífico Neto (VCN) y la densidad. Se utilizaron los mismos factores de conversión, toda vez que la realización del inventario de CN, tuvo como plataforma la base de datos usada en el inventario de GEI.

4.5.1 Valor Calorífico Neto

La Tabla 6 presenta el VCN de los combustibles, en el año base 2005. El dato de actividad de éstos (en Mm³) ingresado en la hoja de trabajo Excel del IPCC, posteriormente se multiplicó por el VCN para llevarlo a la unidad común de TJ. Los datos para los combustibles sólidos están dados en TJ/Gg y para los combustibles líquidos, en MJ/m³. Estos datos se tomaron de la página 92 del Balance Nacional de Energía 2010 (SENER, 2011a).

Tabla 6. Valores caloríficos netos de los combustibles usados en los inventarios de gases de efecto invernadero y carbono negro del Valle del Mezquital, año base 2005

Combustible	VCN	Unidades	Fuente
GLP	23.68	TJ/Mm ³	(SENER, 2011b)
Leña	14.486	TJ/Gg	(SENER, 2010b; SENER, 2011b)
Gasolina	30.072	TJ/Mm ³	(SENER, 2011b)
Diésel	34.13	TJ/Mm ³	(SENER, 2011b)
Combustóleo	37.86	TJ/Mm ³	(SENER, 2011b)
Gas natural	0.03	TJ/Mm ³	(SENER-CRE, 2010; SENER, 2011b)
Combustibles	43.1	TJ/Mm ³	(Castillo-Hernández et al., 2012)
Coque de petróleo	30.68	TJ/Mm ³	(SENER, 2011)
Coque de carbón	0.026521	TJ/Gg	(SENER, 2010)
Llantas usadas	27.21	TJ/Gg	(SENER, 2010)

* Se asume el VCN del diésel reformulado como el VCN de los combustibles formulados. Los datos de densidad y poder calórico para el diésel reformulado se tomaron de los reportados por Castillo-Hernández P, Caballero-Mata P., Mendoza-Domínguez A.

4.5.2 Densidad

En forma similar, la Tabla 7 presenta la densidad correspondiente de los combustibles quemados en la zona de estudio.

Tabla 7. Densidad de los combustibles usados en los inventarios de gases de efecto invernadero y carbono negro del Valle del Mezquital, año base 2005

Combustible (Mm ³)	Densidad (t/m ³)	Fuente
GLP	0.54	SENER, 2005
Gasolina	0.707	(IPCS-CE 2005)
Diésel	0.85	(IPCS-CE 2005a); (PEMEX 2008)
Combustóleo	0.92	(PEMEX 2008a)
Gas natural ^a	7.73E-04	(SENER-CRE 2010)
Combustibles formulados ^b	0.81	Castillo-Hernández (2012)
Coque de petróleo	2.11	(Veneport 2011)
Leña ^c (TJ/Gg)	0.45	(López, 2001); (Zamora-Campos, 2007)
Llantas usadas	0.81	(Se asume la misma de los combustibles formulados)

^a Norma para el Gas natural. Valor promedio entre el máximo y el mínimo.

^b Se asume la densidad del diésel reformulado (0.81 t/m³) como la misma densidad de los combustibles formulados.

^c La densidad de la leña de 0.45 gr / cm³ es un promedio obtenido de densidades reportado para especies de pino en México por (Zamora-Campos Eunise M., 2007): 0.418, 0.425 y 0.445 gr/cm³; y (López L., 2001): 0.47 g/cm³.

4.6 Construcción de escenarios en LEAP

El software LEAP (Long- Range Energy Alternatives Planning System) fue designado para construir el escenario de referencia y realizar los escenarios prospectivos en la zona de estudio, debido a su eficacia para modelar sistemas de energía y por ser reconocido a nivel mundial por el IPCC, entre otros organismos importantes.

La información requerida por LEAP, para construir el escenario base del año 2005 en el VM, se presenta en tablas que describen los datos de actividad, organizados por sectores de emisión. La información contenida en el escenario base es la plataforma a partir del cual se pueden generar otros escenarios en el software. Por tanto, todo escenario creado en forma adicional en LEAP se puede modificar a voluntad; y en caso contrario, hereda los mismos datos de actividad que el escenario base. En este trabajo, además del escenario base se generaron los siguientes escenarios:

- a) Escenario inercial o BAU (Business As Usual)
- b) Escenarios con Acciones de Mitigación (Nota: construidos a partir del BAU)

4.6.1 Construcción del escenario base

En este apartado se describe el proceso de construcción del escenario base del Valle del Mezquital, que representa el requisito obligatorio para la elaboración de los inventarios. Al igual que se hizo para el inventario estatal (Otazo-Sanchez et al., 2013), se toma como año base el 2005 para realizar el estudio de las variables conductoras de la demanda energética en el valle, y los supuestos formulados en la construcción de los escenarios. Para ello se creó una sólida base de datos de entrada para alimentar al LEAP. Esta información es el recurso indispensable para modelar y generar los escenarios de demanda de energía, emisiones, mitigación y costos inherentes. La información recopilada para la zona de estudio, fue procesada y analizada en forma separada antes de introducir el dato de actividad en el LEAP (consumo energético, población, producción, PIB, viviendas, etc.).

4.6.1.1 Usos y fuentes en el Valle del Mezquital

Los sectores de consumo energético en el VM son: la industria de transformación, la industria de manufactura, transporte y el sector integrado residencial, comercial, institucional y de servicios. En todos los sectores, excepto en transporte, los consumos energéticos se consideran debido al uso y a las fuentes, los cuales se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Usos y fuentes de la demanda energética en el Valle del Mezquital, año 2005

RESIDENCIAL Y OTROS		COMERCIAL Y SERVICIOS		INDUSTRIA DE MANUFACTURA		INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN	
Usos	Fuentes	Usos	Fuentes	Usos	Fuentes	Usos	Fuentes
Iluminación	Electricidad	Iluminación	Electricidad	Química	GLP	Termoeléctrica convencional	Combustóleo
	Queroseno	Refrigeración	Electricidad		Gas natural		Gas natural
Refrigeración	Electricidad	Cocción de alimentos	GLP		Diésel		Electricidad
Cocción de alimentos	GLP		Leña		Ciclo combinado	Gasolina	Gas natural
	Leña		Electricidad			Electricidad	Electricidad
	Queroseno	Calentamiento de agua	GLP			Refinería	Combustóleo
Electricidad	Leña		Gas natural	Gas natural			
Calentamiento de agua	GLP		Electricidad	Diésel	Electricidad		
	Leña	Solar	Combustóleo				
	Queroseno	Lavadora / TV	Coque de petróleo				
	Electricidad		Combustibles formulados				
Electrodomésticos	Electricidad			Cemento y cal	Electricidad		
				Metalurgia	GLP		
					Gas natural		
					Coque de carbón		
					Electricidad		
				Textil	GLP		
					Gas natural		
					Diésel		
					Electricidad		
				Alimenticia	GLP		
					Diésel		
					Electricidad		
				Ladrilleras	Leña		

4.6.1.2 Datos de actividad y supuestos del sector integrado: residencial – comercial - turismo – institucional y servicios.

4.6.1.2.1 Consumo energético de leña

INEGI define a una localidad rural como “aquella que tiene menos de 2500 habitantes”. De acuerdo con esta definición, y con los datos de población y vivienda que reportó INEGI en el año 2005, se contabilizaron 1138 localidades rurales y 51 localidades urbanas en los 27 municipios del VM. Lo anterior representa un 96% de localidades rurales y tan sólo un 4% de urbanas. A pesar de esta notable diferencia, el porcentaje de población urbana incluso es ligeramente superior, con un 50.27%, y la población rural un 49.73%.

La leña es un recurso importante para cocinar, calentar agua o para la calefacción del hogar en las zonas rurales del Valle del Mezquital, por lo general en zonas marginadas. El consumo de leña alcanzó (172,8 miles de m³) en el año 2005. La mayor parte de la madera de bosques no cumple los requisitos de calidad para la producción industrial y por lo tanto se destina a la quema principalmente (CONAFOR, 2010).

El preámbulo anterior permite conocer la forma en que está repartida la población en la zona de estudio, y visualizar mejor la situación de consumo de leña en las localidades rurales. De acuerdo a los datos que en forma separada, reportan CONAFOR y SERFORH en el año 2010, en el VM existen 36777 hogares que consumen leña, dispuestos de la siguiente manera: 3777 viviendas distribuidas en los 89 localidades rurales del municipio de Cardonal (INEGI, 2005), el cual está contabilizado en la “Unidad de Manejo Forestal”, (UMAFOR) 1305. Por otro lado, la UMAFOR 1304 reporta 33000 viviendas que consumen leña en los 26 municipios restantes que comprenden el Valle del Mezquital. Se asume que las viviendas que consumen leña son rurales, ya que no hay información diferenciada de su uso por tipo de vivienda.

Para obtener el dato de actividad del consumo energético de leña en el VM (2502.78 TJ), fue preciso calcular primeramente el *Consumo total de leña en el VM* (2858.53 TJ), el cual se obtuvo por proporciones, a partir de los siguientes datos:

- a) Área forestal del VM (220186.4 ha), (CONAFOR, 2010).
- b) Área forestal estatal (1072997 ha), (SEDAGROH, 2008).
- c) Consumo energético de leña en Hidalgo (13.93 PJ), (Otazo et al., 2013).

4.6.1.2.2 Consumo energético de GLP

El consumo de GLP sigue la misma proporción estatal. Se utilizaron los datos de población total en Hidalgo y en el VM; así como el dato de consumo de GLP estatal. Dado que este último no existe, se obtuvo por diferencia de las ventas totales (731.18 Mm³ en 2005) de GLP en Hidalgo y el consumo estatal de GLP en los sectores de manufactura (44.81 Mm³) y transporte (15.32 Mm³). Para ello se asumió que todas las ventas de GLP en Hidalgo se consumieron en el mismo.

La tabla 9 contiene información de los datos de actividad del escenario base en el sector residencial, organizada por sectores de emisión en el VM. Asimismo, incluye los

supuestos formulados en los casos en que se carecía de información específica para el VM.

Tabla 9. Datos de actividad y supuestos del *escenario base* del sector integrado residencial / comercial / turismo / institucional y servicios del Valle del Mezquital, año 2005

SECTOR	DATO	VALOR	DESCRIPCIÓN	CITA	NOTA/SUPUESTO	
Residencial y otros*	Población	786499	Suma de habitantes de los 27 municipios.	(INEGI, 2005). Cuadro 3.3.		
	Viviendas	188207	Suma de viviendas particulares en los 27 municipios.	(INEGI, 2005). Cuadro 4.3.		
	Total Viviendas con EE	179865	96% de viviendas con energía eléctrica (EE).	(INEGI, 2005). Cuadro 4.9.	Se asume que el 100% de las viviendas urbanas tienen EE.	
	Vivienda urbana	50.12%	Total en el VM	INEGI, 2005		
	Vivienda rural	49.88%	Total en el VM	INEGI, 2005		
	URBANO					
	Iluminación					
	Focos incandescentes	99%	Viviendas que usan focos incandescentes	Inventario GEI del estado de Hidalgo	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.	
	Focos fluorescentes	1%	Viviendas que usan focos fluorescentes	Inventario GEI del estado de Hidalgo		
	LEDs	0%	Viviendas que usan LEDs	Inventario GEI del estado de Hidalgo		
	Bienes EE					
	TV	99.8%	Viviendas que tienen TV	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
	REFRI	95.4%	Viviendas que tienen refrigerador	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
	Antes de 1996	50%	Viviendas con refrigerador "viejo".	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal	
	1996-2003	40%	Viviendas con refrigerador "semi-viejo".	LEAP estatal		
	2004 en adelante	10%	Viviendas con refrigerador "nuevo".	LEAP estatal		
	LAVADORA	71.1%	Viviendas que tienen lavadora.	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
	PC	21.1%	Viviendas que tienen computadora.	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
	Cocción de alimentos					
	Gas LP	85%	Viviendas que usan GLP para cocinar	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.	
	Electricidad	15%	Viviendas que usan EE para cocinar	LEAP estatal		
	Calentamiento de agua					
	Gas LP	95%	Viviendas que usan GLP para calentar agua	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.	
	Electricidad	5%	Viviendas que usan EE para calentar agua	LEAP estatal		
	Solar	0%	Viviendas que usan energía solar para calentar agua			

(Continuación de la tabla 9).

RURAL CON ENERGÍA ELÉCTRICA					
Viviendas con EE	88%	Viviendas rurales que tienen EE	INEGI, 2005		
Iluminación					
Focos incandescentes	99%	Viviendas que usan focos incandescentes	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.	
Focos fluorescentes	1%	Viviendas que usan focos fluorescentes			
LEDs	0%	Viviendas que usan LEDs			
Bienes EE					
TV	84.2%	Viviendas que tienen TV	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
REFRI	40%	Viviendas que tienen refrigerador	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
Antes de 1996	50%	Viviendas con refrigerador "viejo".	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.	
1996-2003	40%	Viviendas con refrigerador "semi-viejo".			
2004 en adelante	10%	Viviendas con refrigerador "nuevo".			
LAVADORA	11.5%	Viviendas que tienen lavadora.	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
PC	1.3%	Viviendas que tienen computadora.	(INEGI, 2005). Cuadro 4.11.		
Cocción de alimentos					
Gas LP	60%	Viviendas que usan GLP para cocinar			Se obtiene por diferencia de los otros porcentajes.
Leña	39.2%	Viviendas que usan leña para cocinar	CONAFOR, 2010 / SERFORH, 2010 / INEGI, 2005		Calculados de los datos reportados en UMAFOR 1304 y 1305.
Estufa Patsari	0.8%	Viviendas que tienen estufa Patsari	LEAP estatal		Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.
Calentamiento de agua					
Gas LP	60%	Viviendas que usan GLP para calentar agua			Se obtiene por diferencia de los otros porcentajes.
Leña	39.2%	Viviendas que usan leña para calentar agua	CONAFOR, 2010 / SERFORH, 2010 / INEGI, 2005		Datos de leña calculados a partir de información reportada de UMAFOR 1304 y 1305.
Queroseno	0.76%	Viviendas que usan queroseno para calentar agua	LEAP estatal		Se usó el mismo porcentaje que en el LEAP estatal.
Solar	0%	Viviendas que usan energía solar para calentar agua			

(Continuación de la tabla 9).

RURAL SIN ENERGÍA ELÉCTRICA				
Viviendas sin EE	12%	Viviendas rurales que no tienen EE	INEGI, 2005	
Iluminación				
Queroseno	100%	Viviendas que usan queroseno para iluminación	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.
Cocción de alimentos				
Gas LP	60%	Viviendas que usan GLP para cocinar		Se obtiene por diferencia de los otros porcentajes.
Leña	39.2%	Viviendas que usan leña para cocinar	CONAFOR, 2010 / SERFORH, 2010 / INEGI, 2005	Calculados de los datos reportados en UMAFOR 1304 y 1305.
Estufa Patsari	0%	Viviendas que tienen estufa Patsari	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.
Queroseno	0.76%	Viviendas que usan queroseno para cocinar	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el inventario GEI estatal.
Calentamiento de agua				
Gas LP	60%	Viviendas que usan GLP para calentar agua		Se obtiene por diferencia de los otros porcentajes.
Leña	39.2%	Viviendas que usan leña para calentar agua	CONAFOR, 2010 / SERFORH, 2010 / INEGI, 2005	Datos de leña calculados a partir de información reportada de UMAFOR 1304 y 1305.
Queroseno	0.76%	Viviendas que usan queroseno para calentar agua	LEAP estatal	Se usó el mismo porcentaje que en el LEAP estatal.
Solar	0%	Viviendas que usan energía solar para calentar agua		
* OTROS: COMERCIAL, TURISMO, INSTITUCIONAL Y SERVICIOS				
PIB	3618631.05	Miles de dólares.	(INAFED-PNUD-INEGI, 2005); (INEGI-SCNM, 2011)	Se usó el mismo tipo de cambio pesos /USD (11.24), que en el inventario estatal (promedio anual del 2005).
IE (Com. & Serv.)	1.91637E-07	TJ/DÓLAR US		Intensidad energética de comercio y servicios VM
IE (Pub.)	8.107E-07	TJ/DÓLAR US		Intensidad energética de sector público VM
PIB (Com. & Serv.)	0.5	%		Participación del PIB de comercio y Servicios
PIB (Pub.)	0.04	%		Participación del PIB público

*Otros: comercial, turismo, institucional y servicios

4.6.1.3 Datos de actividad y supuestos del sector transporte

4.6.1.3.1 Supuestos del sector transporte para el escenario base

- El sector transporte incluye el modo de transporte por carretera y ferroviario. El transporte ferroviario sólo consume diésel, mientras que el modo de transporte por carretera se clasifica de acuerdo al tipo de vehículo y combustible utilizado.

- El tipo de vehículo puede ser: particular o comercial. El particular comprende los autos sedán y las motos, mientras que el tipo comercial incluye: taxi, autobús (bus), camión de carga ligera (CL) y camión de carga pesada (CP).
- Los combustibles utilizados en el sector transporte son: gasolina, diésel y GLP.
- INEGI no reporta información desglosada de camiones de carga pesada (CP), ni camionetas (CL); por lo tanto, se asumió que la proporción de CP estatal, (1.71% de la CL), es el mismo porcentaje para el VM. El parque vehicular de CL (105431) para todo el VM se obtuvo de la sumatoria de camiones y camionetas para carga, pública y particular (107254), reportadas por INEGI en 2005, y restando el parque vehicular de CP (1823).
- Se utilizaron los datos estatales de parque vehicular de CL y CP, dado que el dato de actividad para CP del VM depende de estos valores: CL estatal (278642 vehículos), y CP estatal (4838 vehículos), de los cuales 4680 eran de diésel; 152 de gasolina y 6 de GLP (se sumaron los vehículos de gas y gas-gasolina: 5 y 1 respectivamente).
- Se asume que un camión mediano (CL) es de 2 a menos de 13 toneladas (t); tienen 6 o más llantas y el peso del vehículo oscila de 3.5 t a 15 t. Los camiones de CP son vehículos con remolque o semirremolque, de más de 7 metros de longitud, con peso bruto vehicular superior a 15 t o carga máxima de 13 t. Datos tomados de la página web:
[http://www.energia.gob.mx/taller/res/1861/Clasificacion_de_vehiculos_y_definiciones.d
ocx](http://www.energia.gob.mx/taller/res/1861/Clasificacion_de_vehiculos_y_definiciones.docx)
- El azufre que contiene el diésel es una de las principales fuentes de emisión de material particulado, toda vez que la quema de este combustible produce partículas de sulfato que se emiten a través de los tubos de escape. Los filtros de partículas están diseñados para contener el diésel de 15 ppm como contenido máximo de azufre. Con valores de diésel superiores a 350 ppm, se tiene un incremento resultante del 29% en las emisiones de PM (CONAFOR, 2010).
- Debido a que en México no se consume diésel con bajo contenido en azufre, la eficiencia de la combustión en los vehículos es insuficiente, incluso en vehículos que tienen motores con tecnologías de control de emisiones. El combustible diésel que se consume comúnmente en México contiene 500 ppm de azufre. En septiembre de 2013, inició operaciones la primera refinería de combustibles limpios en el país. Se prevé que a partir del año 2017, las cinco refinerías restantes en el país, incluyendo la refinería de Tula, producirán diésel UBA (ultra bajo en azufre) que contiene 15 ppm de azufre.

La Tabla 10 muestra las categorías consideradas en LEAP para el sector transporte, así como las notas y los supuestos enunciados ante la carencia de datos específicos.

Tabla 10. Datos de actividad y supuestos del escenario base del sector Transporte por carretera y ferroviario del Valle del Mezquital, año 2005

SECTOR	CATEGORÍA	VALOR	DESCRIPCIÓN	CITA	NOTA/SUPUESTO
Transporte	PARQUE VEHICULAR (vehículos)				
	Sedán	101079	Particular	(INEGI, 2006a). Cuadro 20.7.	
	Motos	161	Particular	(INEGI, 2006a). Cuadro 20.7.	Se asume que el 100% de las motos consume gasolina.
	Taxi	1800	Público	(INEGI, 2006a). Cuadro 20.7.	
	Bus	1219	Particular y público	(INEGI, 2006a). Cuadro 20.7.	
	Carga ligera (CL)	105431	Particular y público	(INEGI, 2006a). Cuadro 20.7 / (SCT-DGAF, 2005)	Se obtiene por diferencia del total de camiones y camionetas de carga (INEGI 2005), menos la CP del VM.
	Carga pesada (CP)	1823	Particular	(SCT-DGAF, 2005)	El dato de CP del VM es el 1.7 % de la CL del VM.
Transporte	PROMEDIO KM RECORRIDOS POR USO (km/vehículo)				
	Sedán	14965	Particular	Inventario GEI Estatal (Medina-Ramírez, 2012) Inventario GEI Estatal	
	Motos	8030			
	Taxi	36500	Comercial		
	Bus	43800			
	Carga ligera	29200			
	Carga pesada	63546			

(Continuación de tabla 1).

EFICIENCIA ENERGÉTICA (MJ/km)				
Sedán/Gasolina	2.129256428		Inventario GEI estatal	
Sedán/Diésel	2.371786			
Sedán/GLP	1.6455872			
Moto/Gasolina	1.7956			
Taxi/Gasolina	2.129256428			
Bus/Gasolina	3.558652729			
Bus/Diésel	3.9639954			
Bus/GLP	2.7502904			
CL/Gasolina	3.558652729			
CL/Diésel	3.9639954			
CL/GLP	2.7502904			
CP/Gasolina	3.600470035			
CP/Diésel	4.0105758			
CP/GLP	2.7826087			
VEHÍCULOS POR USO DE COMBUSTIBLE (%)				
CP/Gasolina	1		Inventario GEI estatal	
CP/GLP	2			
CP/Diésel	97			
CL/Gasolina	67			
CL/Diésel	8.33			
CL-GLP	24.67			
Partic/Gasolina	99.77			
Partic/GLP	0.21			
Partic/Diésel	0.02			
Bus/Gasolina	0.39			
Bus/GLP	0.15			
Bus/Diésel	99.46			
Taxi/Gasolina	93			
Taxi/Diésel	2			
Taxi/GLP	5			
FERROVIARIO	100			Ferrocarril de carga. Sólo consume diésel.

4.6.1.4 Datos de actividad y supuestos del sector industrial

Los datos de actividad para el sector industrial (energía y manufactura) se consiguieron de dependencias estatales, como son SEMARNATH y las Cédulas de Operación Anuales (COAs), así como de la base de datos en línea del Sistema de Información Energética (SIE-SENER). Por otra parte, existe consumo de biomasa en las ladrilleras de la región: leña, cartón y residuos de madera (expresados en toneladas). Las mezclas de

combustible: aserrín leña y aserrín-cartón se asumieron como leña, debido a la falta de datos de factores de emisión.

Se sabe que en el Valle del Mezquital se utiliza leña en las empresas artesanales de cerámica, sin embargo no se consideraron en los cálculos porque no se obtuvo el dato de actividad.

Tabla 11. Datos de actividad y supuestos del *escenario base* del sector industria de manufactura del Valle del Mezquital, año 2005

SECTOR	INDUSTRIA	VALOR	DESCRIPCIÓN	CITA	NOTA/SUPUESTO	
Industria de Manufactura	INTENSIDAD ENERGÉTICA FINAL (TJ)					
	Química	2098.465	Consumo anual de energía por sector.	SEMARNATH / COAS estatales	Dato de actividad de los combustibles quemados en el sector industrial del VM.	
	Cemento y cal	35882.77				
	Metalurgia	0.01				
	Textil	181.97				
	Alimenticia	132.83				
	PARTICIPACIÓN DE CADA COMBUSTIBLE POR TIPO DE INDUSTRIA (%)					
		Química	Cemento y cal	Metalurgia	Textil	Alimenticia
	Gas LP	1.07	0.001	1.10	8.098	0.10
	Gas natural	72.37	3.417	2.97	0.005	
	Diésel	1.07	44.266		0.019	
	Combustóleo	0.89	27.929			61.62
	Combustibles formulados		1.161			
	Coque de petróleo		13.145			
	Coque de carbón			1.15		
Leña		0.991				
Electricidad	24.6	9.09	94.78	91.878	38.28	
Nota: El consumo energético de las llantas usadas en la industria de cemento, se contabilizó en los "combustibles formulados" consumidos en esta industria. Lo anterior, debido a que el software LEAP no contiene información de cargas ambientales de "llantas usadas" como combustible. Asimismo, la leña quemada en las ladrilleras, se incluyó en esta industria.						

4.6.2 Escenario inercial o BAU (business as usual)

El escenario inercial proyecta las tendencias de los consumos actuales, gobernados por las tasas de crecimiento en las variables determinantes del consumo, sin plantear en éste cambios estructurales significativos. No se plantean medidas de mitigación ni sustituciones de fuentes. La tabla 12 presenta las tasas de crecimiento sectoriales de las variables socioeconómicas.

Tabla 12. Tasas de crecimiento sectoriales en el Valle del Mezquital

TASA DE CRECIMIENTO	VALOR (%)	CITA	NOTA/SUPUESTO
SOCIO ECONÓMICAS			
Población	0.76	(INEGI, 2008) Página 15	Obtenida por promedio ponderado con datos de los 27 municipios.
Vivienda	1.252	INEGI, 2010 / CONAPO	TCMA* de 2010 a 2020 ^a
PIB	2.55	(SEDECO, 2014)	Se usa el mismo porcentaje del LEAP estatal.
INDUSTRIAL			
Electricidad	3.2	LEAP estatal	
Refinería	0.71		
Cemento	5.2		
Química	0.71		
Alimenticia	2.5 / 3		2.5%, año 2005 / 3%, año 2010
Textil	1.275		
Metalurgia	14		
COMERCIO, SERVICIOS Y PÚBLICO			
Comercio	3.55	LEAP estatal	
Servicios educativos	1.01		
Salud y asistencia social	2.17		
Alojamiento temporal	1.75	LEAP estatal	
Servicios financieros	12.5		
Electricidad	3.2		
TRANSPORTE			
Sedán/Gasolina	2.2	Medina-Ramírez, 2012	Calculado de datos: 2005, 14 mil vehículos y 22.8 miles en 2009. Vehículo particular a gasolina, sedán y camioneta (2005-2009).
Todos/GLP	2.2	Medina-Ramírez, 2012	No se reportan TC para vehículos a GLP, por lo que se asume igual que el anterior.
Todos/Gasolina	4	SENER, 2013	Vehículos a gasolina, a partir del año 2013. En "Prospectiva de petróleo y petrolíferos 2013-2027"
Todos/Diésel	5.1	SENER, 2013	Vehículos a diésel, a partir del año 2013. En "Prospectiva de petróleo y

			petrolíferos 2013-2027 ^a
Bus/Gasolina			
Bus/Diésel			Años 2005-2011
Bus/GLP	1.77	Estadística del autotransporte federal de carga, 2011. Páginas 91 y 92.	Se recalculó tomando los datos del 2005 al 2011, con sig. fórmula: $[Diferencia\ entre\ 2005\ y\ 2011 / 6\ años] * valor\ del\ 2005] * 100$
CL/CP	1.91		Carga ligera y carga pesada, para gasolina, diésel y GLP (2005-2011).
Ferrovionario	3.33		Dato de ferrocarril de carga. Sólo utiliza diésel.

* TCMA: Tasa de crecimiento media anual

^a La estimación del número de viviendas que habrá en los años 2020 y 2030 en los 27 municipios del Valle del Mezquital, se calcularon con las proyecciones de población que hace la CONAPO para estos mismos años, divididos entre el número promedio de habitantes por vivienda, (calculados con datos del año 2010). Con los datos de INEGI 2010 se calculó la tasa de crecimiento anual del año 2010 al 2020^a.

Supuestos acerca de las tasas de crecimiento del transporte:

- 1.- Debido a que no se tienen las tasas de crecimiento de los taxis y motos, se asume un comportamiento igual a los de sedan particulares, en los tres combustibles.
- 2.- Se asume que las tasas anuales de carga ligera y pesada son iguales.
- 3.- La tasa de crecimiento anual de ferrocarril para pasajeros no está reportada.
- 4.- Para todos los vehículos de gasolina, a partir del 2013 se asume una tasa de crecimiento anual del 4% y para todos los de diésel, de un 5.1%, (según la prospectiva de petrolíferos).

4.6.3 Escenarios con medidas de mitigación

Las tablas 13 a la 19 presentan datos para generar los escenarios de emisiones, con las medidas de mitigación para el Valle del Mezquital hasta el año 2040, de los sectores que manifiestan un mayor impacto ambiental: industria de transformación de la energía, industria del cemento, transporte y residencial.

4.6.3.1 Sector industria de transformación de la energía

Tabla 13. Datos de la termoeléctrica del Valle del Mezquital para los escenarios de emisiones hasta el año 2040

Sector	Proyecto	Tecnología Nueva o Mejorada	Nuevo Combustible	Capacidad introducida (MW)	Fecha introducción / Rehabilitación	Tecnología desplazada	Costo Pesos/kWh	Unidad generadora	Combustible desplazado	Capacidad retirada (MW)	Fecha de retiro
Transformación de energía en Tula, Hgo.	NTG en Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos (CC-NTG)	CC-NTG	GN	1162	Abril 2021	TC	1.79	2	COM	330	Abril 2021
			GN	1162	Abril 2024			1		330	Abril 2021
			GN	1162	Abril 2024			5		300	Abril 2024
	Rehabilitación y modernización en Central de Ciclo Combinado (CCC)	CCC/Eje 1	GN	275	Sept. 2017	CC	0.9	1	GN	69	Enero 2017
								2		69	Enero 2017
								3		100	Enero 2017
		4		72	Nov. 2016						
		5		72							
		6		107							

CC/NTG: Ciclo combinado/ Nueva tecnología de generación; CC: Ciclo combinado; GN: Gas natural; COM: Combustóleo; TC: Tecnología convencional

Fuentes de consulta:

- Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025
- Prospectiva del sector eléctrico 2013-2027
- POISE 2014-2028
- IMAT, 2014.
- Otazo-Sanchez et al., 2013
- SENER, 2010c. Páginas 153 – 158.
- Tesis: "Optimización de la planta de ciclo combinado Tula: sustitución de las calderas de recuperación de calor". Andrés Aarón Olguín Mejía, 2010. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Páginas 124, 125 y 137.
- Noticia: <http://www.elfeta.info/blog/2014/12/cfe-entrega-a-espanoles-un-contrato-por-323-mdd-para-remodelar-la-termoelectrica-de-tula/>

Tabla 14. Información básica de las termoeléctricas de Tula, Hidalgo

Tecnología	Combustible	Unidades generadoras ^a	Capacidad efectiva (MW) ^c	Generación bruta GWh ^c	Factor de planta (%) ^d	Eficiencia bruta (%) ^d	Vida económica (años) ^d	Inicio de operaciones (año)	Usos propios (%) ^d	Costo de generación ^e (pesos/kWh)
TC Francisco Pérez Ríos	COM y GN	5	1500 ^g	8741.96	0.75 (típico) / 65% ^g	37.58 / 32% ^f	30	1975 ^h	5.8	0.78
CC	GN	6	489	2961.27	0.80 ^h	51.24	30	1980 ^g	2.2	1.16

TC: Tecnología convencional; CC: Ciclo combinado; COM: Combustóleo; GN: Gas Natural.

Fuentes de consulta:

- ^a Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025
- ^c INEGI, 2005 (Anuario estadístico 2005: Electricidad/Centrales generadoras por municipio)
- ^d Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025, página 185 (cuadro 52).
- ^e CFE, 2012. Costo de generación por tecnología.
- ^g Tesis: "Optimización de la planta de ciclo combinado Tula: sustitución de las calderas de recuperación de calor" Andrés Aarón Olguín Mejía, 2010. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Páginas 124, 125 y 137.
- ^f POISE, 2014. Página 80.
- ^h Tesis: "Análisis de la repotenciación de la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, de la CFE, con tecnología IGCC". Antonio Falcón Benítez, 2013. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Página 64.

Tabla 15. Datos de la refinería del Valle del Mezquital para los escenarios de emisiones hasta el año 2040

Sector	Proyecto	Tecnología Nueva	Capacidad bruta	Fecha de introducción	Reducción tCO ₂ /año	Eficiencia	Costo USD/t CO ₂	Descripción
Industria de transformación de energía	Refinería Miguel Hidalgo (Tula)	Cogeneración	1160 MW	2015	N/D	60%	-29	Uso de vapor residual de un proceso para generar EE
			3.5% acum.	2020	N/D			
			Se mantiene	2030	N/D			
		Economizador de Caldera CB-5		2020	-49632		17	En sector No.5 de la Planta Catalítica No. 1
		Recuperación de hidrocarburos		2020	-35824		17	Reducción de emisiones por recuperación de fugas e hidrocarburos enviados a desfogue
		Modernización de caldera	-67,139 MWh/año	2020			17	Caldera recuperadora 101-U en la Planta Catalítica No. 2
		Optimización de energía						
Producción de combustibles UBA								

(Otazo-Sanchez et al., 2013)

4.6.3.2 Industria de manufactura

En este sector se definen escenarios de emisiones en donde la línea base está constituida en primer término por la quema de combustible en la producción de cemento, seguida de la industria química. En el sector industrial las tres medidas importantes son la cogeneración y uso de calor residual, el uso de energías alternativas y el mejoramiento en la eficiencia en la maquinaria usada.

Tabla 16. Datos de Cruz Azul, empresa de la industria del cemento en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040

Sector	Proyecto	Tecnología Nueva	Nuevo Combustible	Fecha de inicio	Combustible reemplazado o disminuido	% Sustitución de comb. Fósiles (2007)	% Sustitución de comb. Fósiles (2013) ^a	Costo Pesos/kWh	Descripción
Industria del cemento	CRUZ AZUL (Tula)	Disminución de uso de combustóleo	Coque de petróleo	2007	Combustóleo	4,157,195		Sin costo	Introducción de un molino de coque de petróleo. Sin costo porque ya se tenía. El cambio a coque se hizo por > economía y > poder calorífico (> eficiencia energética).
		Coprocesamiento de RP y RNP / Aumento de uso de combustibles alternos	Combustibles alternos ^b	2007	Combustóleo	1.76	4.52	13,500,000	Instalación de Cámara de combustión (Host disc)- alimentación de combustibles alternos en unidades de calcinación No. 8 y 9.
		Optimización del horno precalentador - ahorro de combustible			Combustóleo				Instalación de cajas dispersoras en el precalentador del horno No. 9, que reduce 5°C la temperatura de gases de escape en la IV Etapa del precalentador. Ahorro anual de 325,000 kg. de combustóleo.
		Mayor eficiencia /Ahorro de EE - Instalación de bancos de capacitores en trituradora			EE				El factor de potencia de la trituradora de cantera "Xirgo" subió de 0.88 a 0.96; ahorro anual de 500,000 kWh.

EE: Energía Eléctrica; RP: Residuos Peligrosos; RNP: Residuos No Peligrosos

^a CopCruz Azul 2008: Cooperativa La Cruz Azul, S. C. L. "Comunicación sobre el progreso. El pacto mundial" / Julio 2008.

CO₂, 2014: Cooperativa La Cruz Azul, S. C. L. "Proyectos de Mitigación de emisiones de CO₂". (Cooperativa la Cruz Azul, S.C.L. Planta Tula. Gerencia de Ecología).

^b Combustibles alternos: Llantas usadas, aceites gastados, plásticos, PET, desechos domésticos municipales (papel, trapos con grasas, residuos sanitarios, textiles, otros). Pág. 25.

^c Sustitución de combustibles fósiles (4.52%), se asume que corresponde al año 2013 (pendiente por confirmar). Ver fotografía IMG_20141027_114621.

Cooperativa La Cruz Azul S.C.L. en Hidalgo produce 4000 t/día (1460000 t/año), dado que trabajan todos los días, las 24 horas.

Tabla 17. Datos de CEMEX, empresa de la industria del cemento en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040

Sector	Proyecto	Tecnología Nueva/medida	Nuevo Combustible	Fecha de inicio	Combustible reemplazado o disminuido	Reducción tCO ₂ /año	Descripción
Industria del cemento	CEMEX Atotonilco	Co-procesamiento de FIRSU	Combustibles alternos	2012	Coque de petróleo, combustóleo, GN	68,579	Los desechos FIRSU se compactan, trituran y usan como combustible alternos en los hornos cementeros.
	CEMEX Huichapan	Co-procesamiento de biomasa ^a	Combustibles de biomasa	2012	Coque de petróleo, combustóleo, GN	51,357	Se hace una valoración energética y de calidad de los residuos, antes de usarlos.

GN: Gas Natural.

FIRSU: Fracción Inorgánica del Residuo Sólido Urbano (materia inorgánica, papel, plásticos, textiles y otros).

^a Combustibles de biomasa: Textiles, lodos orgánicos, residuos de madera, papel, cartón y otros residuos de biomasa (cascarilla de arroz, cáscara de café, entre otros).

CEMEX. Informe de desarrollo sustentable 2013. Enfrentando el reto de la urbanización. Página 36.

^a CEMEX, 2011. Informe de desarrollo sustentable 2011. "CEMEX, Construyendo el futuro". Página 41.

4.6.3.3 Sector transporte por carretera

Los combustibles con mayor demanda en el Valle del Mezquital son: gasolina, diésel y GLP. Sin embargo, la mayor aportación de demanda energética se considera en el sector de carga ligera de gasolina y de camión de carga pesada a diésel. Las medidas de mitigación se enfocan mayormente al transporte sedan y camiones ligeros de gasolina. Las medidas consideran: continuar y reforzar el programa de verificación vehicular con mayor énfasis en los municipios con mayor concentración de habitantes. Incentivar el uso de combustibles UBA (ultra bajos en azufre), cambiar el uso de gasolina a gas natural, reducir el uso de auto, incrementar el uso de transporte no motorizado, optimizar las rutas de transporte público, implementar el programa de eficiencia vehicular y promover el uso ferroviario para trasportación de carga local.

Tabla 18. Datos de la industria del transporte por carretera en el Valle del Mezquital, para los escenarios de emisiones hasta el año 2040 con acciones de mitigación.

Sector	Proyecto	Tecnología / Medida	Ámbito	Cambio	Descripción	Costo de producción (US\$/litro)	Referencias	
Transporte por carretera	Sedán y Carga ligera	Uso de biocombustibles	F y E	Sustituir gasolina, GLP y diésel por etanol y biodiésel	Etanol: Compuesto químico extraído del maíz y caña de azúcar; puede usarse como combustible. Biodiésel: Combustible producido a partir de aceites vegetales.	Etanol: 68 y 40 (2011). Biodiésel: 42-100	SENER, 2012. Págs. 45, 130 y 143.	
		Uso de bioenergéticos	F y E	Sustituir gasolina, GLP y diésel por etanol anhidro y biodiésel	Etanol anhidro: Tipo de alcohol etílico compatible para mezclar con gasolinas. Produce un combustible oxigenado con mejores características.		SENER, 2012. Pág. 143	
		Uso de gasolina UBA	F y E	Sustituir gasolinas Magna y Premium	Gasolina UBA: Gasolina de Ultra Bajo Azufre (15 ppm)		^{a y b}	
		Eficiencia vehicular	F	Reforzar programa de verificación vehicular			ITDP, 2012/PEACC-H	
		Cambio gasolina por GLP	E	Implementar el programa de eficiencia vehicular				
		Reducción del uso de auto	E	Uso de transporte no motorizado				
		Optimización de Rutas de transporte público	E	Promover el uso ferroviario para transportación de carga local				
		Carga ligera y carga pesada	Implementar sistemas de control de emisiones	E	Uso de filtros de partículas, convertidores catalíticos y controles electrónicos			CEPAL-GIZ, 2012
			Uso de diésel UBA	F	Sustituir diésel con alto contenido de azufre.	Diésel UBA: Diésel de Ultra Bajo Azufre (15 ppm)	0.7 y 3.1 / galón (CEPAL-GIZ, 2012)	^{a y b}
			Eficiencia vehicular	F	Reforzar programa de verificación vehicular			ITDP, 2012

F: Federal; E: Estatal.

^a <http://www.industriapetroleramexicana.com/2014/03/pemex-apuesta-por-combustibles-limpios/>

^b <http://www.ref.pemex.com/octanaje/o66/o.htm>

ITDP (2012). Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo México. "La importancia de reducción del uso de automóvil en México. Tendencias de motorización, del uso del automóvil y sus impactos." ISBN 978-607-95960-3-3.

SENER, 2012. Prospectiva de energías renovables 2012-2026. México. Secretaría de energía.

"CEPAL-GIZ, 2012. Análisis de la reducción del azufre en el combustible diésel en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Sede Subregional en México.

4.6.3.4 Sector residencial, comercial, institucional y servicios

En este sector se consideran las emisiones generadas por uso de energía en iluminación, aparatos electrodomésticos (planchas, refrigeradores, etc.), y de entretenimiento (televisión, radio, etc.) y calentamiento de agua. Las medidas de mitigación se enfocan hacia el ahorro de electricidad, leña y de gas LP: el uso de lámparas eficientes en las viviendas mediante la sustitución de lámparas incandescentes por ahorradoras, el uso de calentadores solares de agua, la introducción de cocinas de inducción magnética, que

presenta mayor rapidez de calentamiento y 50% de ahorro en la eficiencia comparadas con las cocinas que usan el gas LP; así como el fortalecimiento de introducción de cocinas ahorradoras de leña de tecnología mexicana con un ahorro del 30% de la leña; el uso de Sistemas de Ahorro Eficientes LEDs en alumbrado público y en casas habitación. Asimismo, promover el desarrollo de vivienda sustentable y el diseño integrado de edificaciones.

Tabla 19. Datos para los escenarios de emisiones hasta el año 2040 del sector integrado: residencial, comercial, institucional y servicios, del Valle del Mezquital

	Proyecto	Tecnología / Medida	Descripción	Costo de capital (USD/kW)	Costos característicos de energía (US¢/kWh)	Referencias
Residencial comercial institucional y servicios ^a	Energía rural	Sistema solar casero	Tamaño sistema: 20-100 W		40-60 (costos típicos)	SENER, 2012. Pág. 127
		Turbina eólica (pequeña escala)	Tamaño turbina: 0.1-3 kW		15-35 (costos típicos)	
		Gasificador de biomasa	Tamaño: 20-5,000 kW		8-12 (costos típicos)	
	Generación eléctrica	Solar fotovoltaica (techos)	Capacidad pico: 3-5 kW (residencial); 100 kW (comercial); 500 kW (industrial) Eficiencia: 12-20%	2,480-3,270	22-44 (Europa)	SENER, 2012. Pág. 128
		Eólica (pequeña escala)	Tamaño de turbinas: hasta 100 kW	3,000-6,000 (EEUU); 1,580 (China)	15-20 (EEUU)	
		Uso de gasolina UBA	Gasolina UBA: Gasolina de Ultra Bajo Azufre (15 ppm)			^a y ^b
	Calentamiento de agua/Calentamiento/Enfriamiento	Calentamiento con biomasa (pellets)	Tamaño de la planta: 5-100 kWt Factor de planta: ~ 13-29% Eficiencia: 86-95%	360-1,410	18.8-100	SENER, 2012. Pág. 129
		Calefacción de edificios con biomasa	Tamaño de la planta: 0.1-1 MWt Factor de planta: 25-30%	1,865-4,595	28-76	
		Solar térmica (Sistemas de calentamiento de agua doméstico)	Tipo de colector: plano, tubo evacuado Tamaño: 2.1-4.2 kWt (3-6 m ²); 35 kWt (50 m ²)	China: 147-634 pequeña escala: 1,670-1,730 gran escala: 1,020-1,060	4.2-79 (China)	
	Ahorro de Energía	Cambio de focos incandescentes por fluorescentes	Ahorro de EE: 71.7% Fecha de aplicación: 2012.	Costo: -23 USD/ t CO ₂		Otazo, 2013. Pág. 167 y 168.
		Uso de cocinas de inducción	Disminución de consumo de combustibles fósiles (GLP)	Costo: 21 USD/ t CO ₂		
		Uso de cocinas Patsari	Cocinas ahorradoras de leña	Costo: -2.3 USD/ t CO ₂		

EE: Energía Eléctrica; GLP: Gas Licuado del Petróleo.

* Viviendas, restaurantes, hoteles, balnearios, edificios públicos, centros comerciales, entre otros.

^a <http://www.industriapetroleramexicana.com/2014/03/pemex-apuesta-por-combustibles-limpios/>

^b <http://www.ref.pemex.com/octanaje/o66/o.htm>

SENER, 2012. Prospectiva de energías renovables 2012-2026. México. Secretaría de energía.

(Otazo-Sanchez et al., 2013).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero

A partir de la construcción del escenario base del año 2005, se realizó el inventario de emisiones de GEI del Valle del Mezquital, que incluye las emisiones de CO₂, de otros gases distintos del CO₂ y de carbono negro, en la categoría energía (por la quema de combustibles fósiles).

5.1.1 Fuentes de emisión

La categoría energía incluye los siguientes sectores o fuentes de emisión en el VM: industria de transformación de energía; industria de manufactura, (que incluye cemento, cal, química, textil, alimentos y metalurgia-siderurgia); sector transporte (en carretera y ferrocarril); y residencial, (que abarca los sectores: comercio, turismo, institucional y servicios). Entre estas fuentes destacan las industrias de energía y cemento, que emiten GEI y otros contaminantes atmosféricos tales como SO₂, NO_x, CO y COVDM. La figura 9 muestra las principales fuentes fijas y móviles, de emisiones de GEI por sector detectadas en el VM.

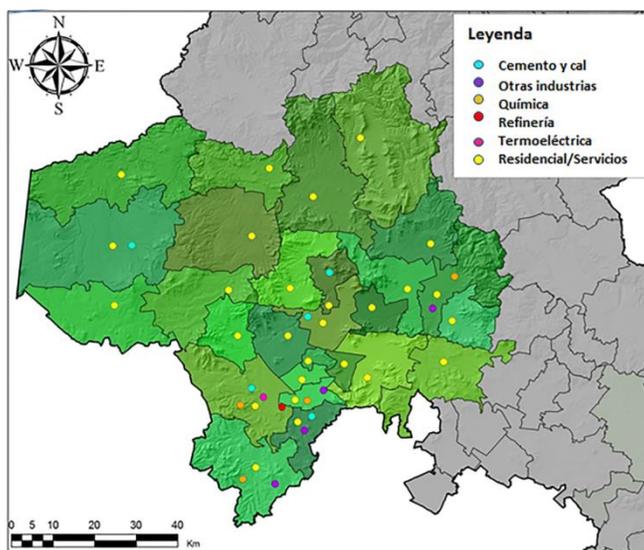


Figura 9. Fuentes fijas y móviles de emisiones de gases de efecto invernadero en el Valle del Mezquital, año base 2005

5.1.2 Inventario de emisiones de CO₂

Para realizar los inventarios se creó una base de datos, con la información proporcionada por las Cédulas de Operación Anuales (COAS) estatales y federales. De la información recopilada, se utilizó el dato de actividad de consumo de combustibles por sector, del cual procede en primera instancia, el cálculo del inventario de emisiones de CO₂, y posteriormente, los inventarios de emisiones de gases diferentes de CO₂ y de carbono negro (CN), ya que esta base de datos fue la misma plataforma para calcular todos los inventarios.

Las figuras 10 y 11 presentan las emisiones de CO₂ resultantes en la zona de estudio; la figura 10 muestra las emisiones por tipo de sectores de emisión y la segunda, por tipo de combustibles quemados.

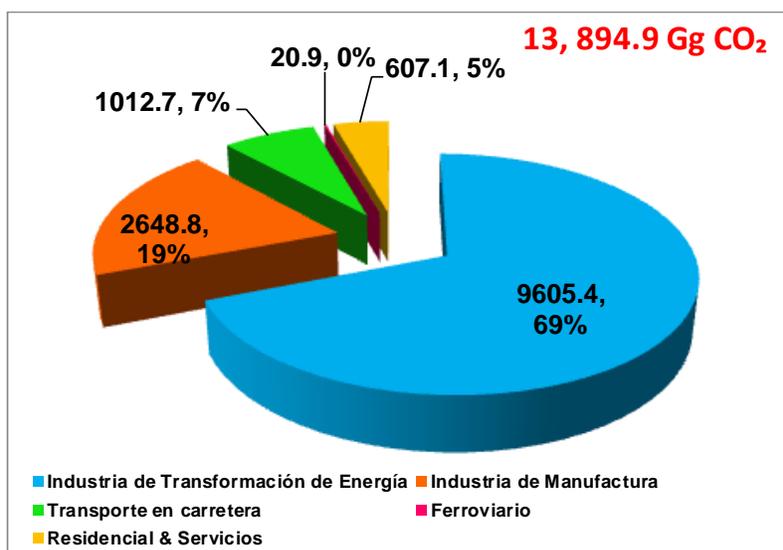


Figura 10. Emisiones totales de CO₂ (Gg), por sectores del Valle del Mezquital año 2005. Las emisiones más altas de CO₂ se acreditan a la industria de transformación de la energía (69%), seguidas por la industria manufacturera (19%) y el transporte en carretera (7%).

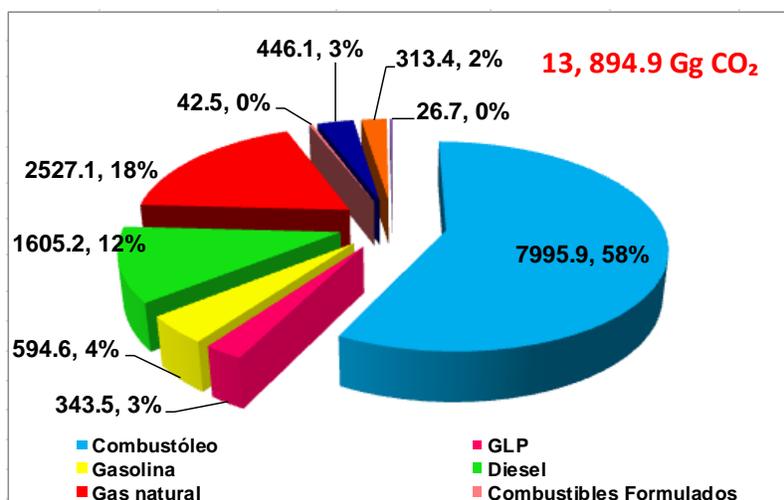


Figura 11. Emisiones totales de CO₂ (Gg), por tipo de combustible quemado en el Valle del Mezquital año 2005

La central termoeléctrica y la refinería sólo consumen combustóleo y gas natural en sus procesos de producción, reuniendo entre ambas las mayores cantidades de combustibles quemados en el estado. Es por ello que sobresalen las emisiones de CO₂ debidas al consumo de combustóleo (58%) y del gas natural (18%). De las industrias transformadoras de energía en el VM, la termoeléctrica convencional es la que tiene mayor consumo de combustóleo en el estado de Hidalgo. En forma similar, la “Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado”, es la industria que más consume gas natural en el VM, dado que es el único combustible que utiliza en sus procesos de generación. El gas natural también se consume en la central termoeléctrica convencional, en la industria química y en las cementeras.

Los combustibles quemados comúnmente en la industria manufacturera son combustóleo, diésel, coque de petróleo, así como gas natural, gasolina y GLP en cantidades más pequeñas.

Las llantas usadas son generalmente quemadas en las industrias del cemento, junto con otros combustibles formulados. Estos últimos también se utilizan en la industria química. Los combustibles formulados utilizados en las industrias del cemento se recuperan a partir de residuos peligrosos, cuyo manejo y gestión se encuentran regulados por la NOM-040-ECOL-2002.

La leña se utiliza en las fábricas de ladrillos para calentar los hornos. Existe un registro aproximado de cuarenta de estas fábricas en el valle, durante el año 2005 (COAS Estatales, 2005).

En contraste, en el sector residencial predomina el consumo de GLP y leña. Estos combustibles son utilizados para satisfacer las necesidades domésticas, principalmente para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua.

El GLP presenta mayor demanda en municipios urbanizados, mientras que la leña es comúnmente usada en zonas rurales. Cabe mencionar que la leña es un recurso ampliamente usado en la preparación de barbacoas de borrego y de pollo, en algunos municipios del VM como son El Arenal y Actopan, que gozan de gran prestigio en esta tradición culinaria del estado. El queroseno tiene una demanda mínima de 36 TJ, usado para iluminación, cocción de alimentos y calentamiento de agua en zonas rurales marginales carentes de energía eléctrica. Por otro lado, la electricidad satisface las necesidades de iluminación (focos incandescentes y fluorescentes), refrigeración, entretenimiento (televisor y computadora), así como calentamiento de agua en mínima proporción (calentador de inmersión).

Las emisiones residenciales por uso de leña obtenidas para el VM resultaron mayores que las del estado, ya que en el inventario de GEI estatal no se incluyó el consumo de leña debido a la falta de datos.

5.1.3 Inventario de emisiones de gases distintos del CO₂

La Figura 12 muestra las emisiones de gases distintos del CO₂ en el Valle del Mezquital. Es muy notorio el predominio de las emisiones de SO₂ con 255,9 Gg, lo cual revela las excesivas cantidades de combustóleo y diésel quemadas en las industrias de la energía y de cemento. Las emisiones de CO son los siguientes en importancia con 93.83 Gg, seguido de las emisiones de NO_x con 42.95 Gg. Ambas emisiones sobresalen en los sectores mencionados.

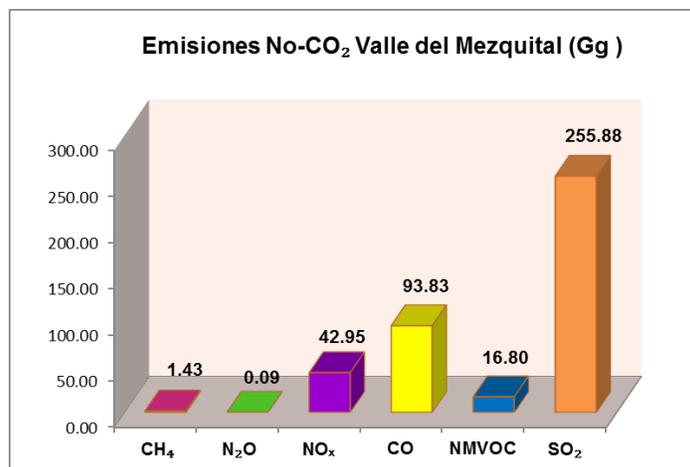


Figura 12. Emisiones totales de gases distintos de CO₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005

En las Figuras 13 y 14 se presentan las emisiones de SO₂, que arrojan a la atmósfera las industrias del VM por quemar combustibles con alto contenido de azufre. Destacan principalmente las del sector energético, que aportaron 210.42 Gg de SO₂ en el año base, (que representan el 82.23% de emisiones); le siguen las industrias de manufactura, mayormente las cementeras, con 44.39 Gg (17.35%); el transporte con 0.97 Gg (0.38%), y el residencial con 0.11 Gg (0.04%).

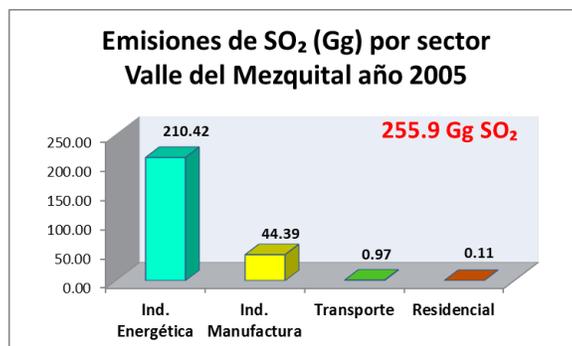


Figura 13. Emisiones por sector (izquierda), de SO₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005

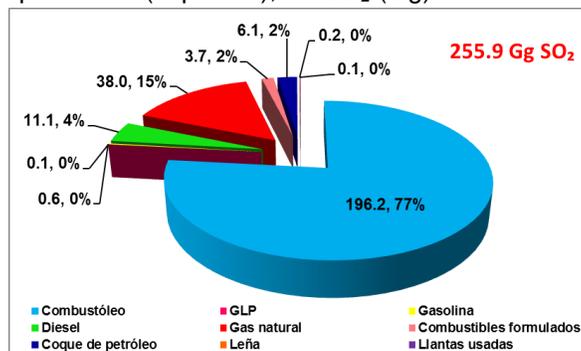


Figura 14. Emisiones por tipo de combustible (derecha), de SO₂ (Gg) en el Valle del Mezquital año 2005

Estas emisiones se producen por las enormes cantidades de combustóleo y gas natural que se queman en la industria de transformación de la energía; también por el combustóleo, diésel y coque de petróleo quemados en las cementeras; y en menor escala, por el diésel, gasolina y GLP del sector transporte, así como por el GLP del sector residencial. En porcentajes totales de aportación de SO_2 por combustible en el valle, el combustóleo participa con el 77%, el gas natural con 15%, el diésel con 4% y el coque de petróleo, al igual que los combustibles formulados, con un 2%; los combustibles restantes (GLP, gasolina, leña y llantas usadas), tienen una participación minoritaria inferior al 1%.

5.1.4 Inventario de carbono negro

El inventario de CN complementa la información de emisiones GEI en el VM. Otra forma de calcular las emisiones de CN es a partir de datos de emisiones de partículas de tamaño de 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$) y su correlación con CN por categoría de fuente (Cruz-Núñez, 2014). Sin embargo, ante la carencia de un inventario de $\text{PM}_{2.5}$ reportado para el VM, estas emisiones se estimaron mediante una metodología conocida “de arriba hacia abajo” (basada en consumo de combustible y factores de emisión), y aprovechando la existencia de datos disponibles y confiables –los mismos datos de actividad utilizados en el inventario de emisiones GEI del VM-. Los factores de emisión de CN (FE_{CN}) se consiguieron de la literatura, a partir de los hallazgos de investigadores y científicos expertos, principalmente de los valores reportados por Bond et al. (2004), quien sigue los criterios de la relación existente entre los combustibles, el sector y el tipo de tecnología. Por otro lado, en la figura 15 se aprecia que las emisiones de carbono negro están dominadas por el sector transporte en carretera (37%), debido principalmente a los vehículos diésel obsoletos, que emiten copiosas cantidades de CN por la mala combustión. Los sectores que siguen al sector transporte con las mayores emisiones son: residencial con 26% y la industria manufacturera con 22%.

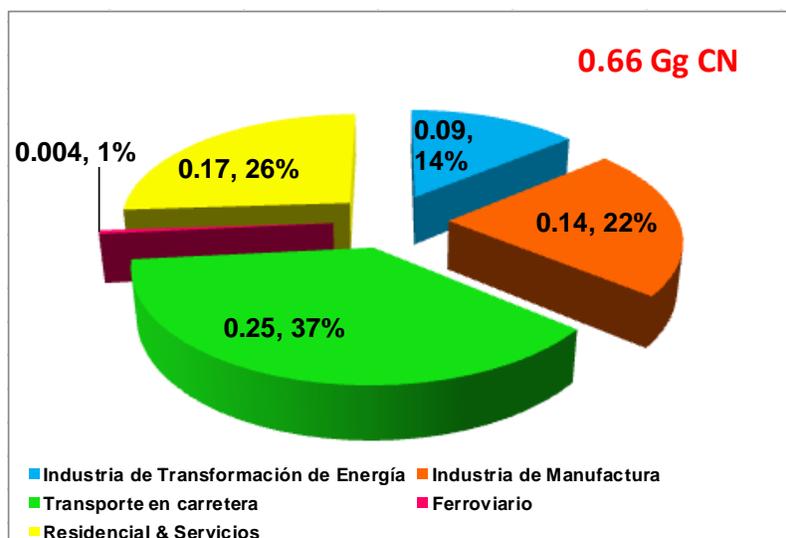


Figura 15. Emisiones totales de carbono negro (Gg), por sectores en el Valle del Mezquital año 2005

En las emisiones de carbono negro se destaca el consumo de diésel y leña en los sectores transporte y residencial, con 51% y 24% respectivamente, los cuales se pueden ver en la figura 16. Los combustibles que se consumen en el sector del transporte son la gasolina, diésel y GLP. Las emisiones más altas de carbono negro (51%) se deben a la quema de diésel en este sector, sobre todo por los vehículos de carga pesada y carga ligera que circulan por toda la región. Las emisiones de carbono negro por la quema de diésel también se producen en la industria del cemento, la cual consume asimismo, combustóleo y coque de petróleo en cantidades más pequeñas.

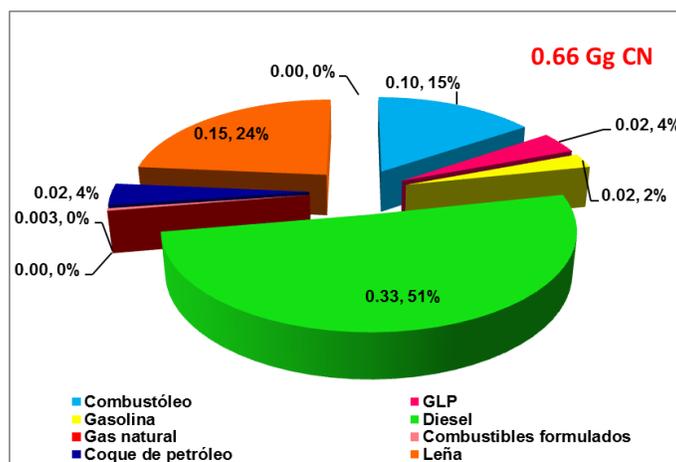


Figura 16. Emisiones totales de carbono negro (Gg), por tipo de combustible quemado en el Valle del Mezquital año 2005

5.1.5 Emisiones totales en el Valle del Mezquital

La Tabla 20 presenta las emisiones totales resultantes de GEI, CN y otros gases contaminantes en el Valle del Mezquital, en el año de referencia 2005. Se observa que las mayores emisiones de CO₂ son debidas principalmente a la actividad de transformación de energéticos.

Las emisiones de SO₂ son producidas por la quema de combustibles con alto contenido de azufre como son el combustóleo, gas natural, diésel y coque de petróleo, que se utilizan mayormente en las industrias de energía y cemento del VM.

Tabla 20 Emisiones totales de gases de efecto invernadero, de carbono negro (CN) y de otros gases contaminantes (Gg) en el Valle de Mezquital, en el año base 2005

Categoría de Energía	CO ₂	CN	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
Industria de Transformación de Energía (Total)	9605.4	0.09	0.33	0.07	25.23	2.27	0.68	210.42
-Termoeléctrica	7,342.6	0.07	0.25	0.05	19.32	1.76	0.53	159.19
-Refinería	2,262.8	0.02	0.08	0.02	5.91	0.51	0.16	51.23
Industria de Manufactura (Total)	2648.8	0.14	0.09	0.02	6.8	1.85	0.19	44.39
-Cemento y cal	2539.1	0.135	0.07	0.02	5.35	1.75	0.15	42.27
-Química	100.0	0.0003	0.02	0.004	1.43	0.10	0.04	1.98
-Otras industrias	9.75	0.0007	0.0003	0.0001	0.02	0.002	0.001	0.14
Transporte (Total)	1033.62	0.25	0.22	0.01	10.13	77.09	14.40	0.97
-Carretera	1012.7	0.25	0.213	0.01	9.92	75.79	14.15	0.95
-Ferrocarril	20.9	0.004	0.004	0.0002	0.21	1.29	0.24	0.02
Residencial y Servicios	607.1	0.17	0.80	0.00	0.78	12.62	1.53	0.11
Total	13894.9	0.66	1.44	0.10	42.94	93.83	16.80	255.89

5.1.5.1 Jerarquización de las fuentes de emisión

La contribución total por fuente de emisión de las emisiones de CO₂ y CN en el VM se presenta en las tablas 21 y 22 respectivamente. No es factible presentar estos resultados en una sola gráfica, debido a la disparidad de los valores máximo y mínimo.

Tabla 21 Jerarquización de las fuentes de emisión de CO₂ (Gg) en la categoría energía, por quema de combustibles en el Valle del Mezquital, año base 2005

Fuente de emisión	Emisiones CO ₂ (Gg)	Total acumulado	% Acumulado
Industria energética (termoeléctrica) por quema de combustóleo	5361.4	5361.4	38.59%
Industria energética (termoeléctrica) por quema de gas natural	1981.2	7342.6	52.84%
Industria energética (refinería) por quema de combustóleo	1890.1	9232.7	66.45%
Industrias de cemento y cal por quema de diésel	1164.6	10397.3	74.83%
Industrias de cemento y cal por quema de combustóleo	744.0	11141.3	80.18%
Transporte en carretera por quema de gasolina	594.6	11735.9	84.46%
Industrias de cemento por quema de coque de petróleo	446.1	12182.0	87.67%
Transporte en carretera por quema de diésel	409.7	12591.7	90.62%
Industria energética (refinería) por quema de gas natural	372.7	12964.5	93.30%
Residencial & otros por quema de GLP	332.7	13297.2	95.70%
Residencial & otros por quema de leña	274.4	13571.5	97.67%
Industria química por quema de gas natural	95.8	13667.4	98.36%
Industrias de cemento y cal por quema de gas natural	77.4	13744.7	98.92%
Industrias de cemento por quema de combustibles formulados	41.2	13785.9	99.22%
Otras Industrias de manufactura (ladrilleras) por quema de leña	39.0	13824.9	99.50%
Industrias de cemento por quema de llantas usadas	26.7	13851.7	99.69%
Transporte ferroviario por quema de diésel	20.9	13872.6	99.84%
Transporte en carretera por quema de GLP	8.4	13881.0	99.90%
Otras industrias de manufactura (química y alimentos) por quema de diésel	8.2	13889.2	99.96%

Industria química por quema de diésel	1.7	13890.9	99.97%
Industria química por quema de combustibles formulados	1.4	13892.2	99.98%
Otras industrias de manufactura por quema de GLP	1.2	13893.4	99.99%
Industria química por quema de GLP	1.2	13894.5	100.00%
Otras industrias de manufactura (textil) por quema de combustóleo	0.3	13894.9	100.00%
Otras industrias de manufactura (metalúrgica-siderúrgica y textil) por quema de gas natural	0.001	13894.9	100.00%

Tabla 22 Jerarquización de las fuentes de emisión de carbono negro (Gg) en la categoría energía, por quema de combustibles en el Valle del Mezquital, año 2005

Fuente de emisión	Emisiones de CN (Gg)	Total acumulado	% Acumulado
Transporte en carretera por quema de diésel	0.23	0.23	34.93%
Residencial & otros por quema de leña	0.15	0.38	57.27%
Industrias de cemento y cal por quema de diésel	0.10	0.48	72.32%
Industria energética (termoeléctrica) por quema de combustóleo	0.07	0.54	82.67%
Transporte en carretera por quema de gasolina	0.02	0.56	85.15%
Industrias de cemento por quema de coque de petróleo	0.02	0.58	88.88%
Residencial & otros por quema de GLP	0.02	0.61	92.57%
Industria energética (refinería) por quema de combustóleo	0.02	0.63	96.22%
Industrias de cemento y cal por quema de combustóleo	0.01	0.64	97.66%
Industria de manufactura (ladrilleras) por quema de leña	0.01	0.65	98.86%
Transporte ferroviario por quema de diésel	0.004	0.65	99.41%
Industrias de cemento por quema de combustibles formulados	0.003	0.66	99.81%
Otras industrias de manufactura (alimentos) por quema de diésel	0.001	0.66	99.92%
Transporte en carretera por quema de GLP	0.0002	0.66	99.96%
Industria química por quema de diésel	0.0001	0.66	99.98%
Industria química por quema de combustibles formulados	0.0001	0.66	99.99%
Industria química por quema de GLP	0.00003	0.66	99.99%

Otras industrias de manufactura por quema de GLP	0.00003	0.66	100.00%
Otras industrias de manufactura por quema de combustóleo	0.000004	0.66	100.00%

5.1.5.2 Potencial de mitigación de emisiones de carbono negro (Gg CO₂ eq.)

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, es apremiante implementar un programa de reducción de emisiones de GEI en el VM, en el que se contemple la introducción de tecnologías mejoradas y el uso de energías limpias. Las metas de mitigación en el VM deben centrarse en dos sectores prioritarios:

- 1) las industrias de transformación de energía (termoeléctricas y refinerías), para reducir las emisiones de CO₂ incorporando nuevas tecnologías en los procesos que reemplazarán el uso de combustóleo por gas natural.
- 2) El transporte por carretera y ferroviario, con acciones tales como sustituir el diésel y gasolina por combustibles más limpios (con ultra bajo contenido de azufre: UBA); retirar de la circulación los vehículos diésel obsoletos y promover la introducción de motores más eficientes con dispositivos de control de emisiones. Estas acciones podrían reducir las emisiones de carbono negro 1312.25 (Gg CO₂ eq.) a 20 años y 444.57 (eq Gg CO₂.) a 100 años y por ende, sus efectos sobre la salud y el calentamiento local. En la tabla 23 se presentan las emisiones de CN por tipo de combustible y sector, así como los potenciales de mitigación (en unidades equivalentes de CO₂), proyectados a horizontes de 20 y 100 años.

Tabla 23 Emisiones totales de carbono negro (Gg) y el potencial de mitigación (Gg CO₂ eq.) en el Valle de Mezquital, en el año base 2005

	Emisiones de carbono negro (Gg)					Potencial de Mitigación (Gg CO ₂ eq.)		
	Industria de Transformación de Energía	Industria de Manufactura	Transporte		Residencial & Servicios	Emisiones Totales	20 años	100 años
			Carretera	Ferroviario				
Combustóleo	0.09	0.01	0	0	0	0.10	202.58	68.63
Diésel	0	0.10	0.23	0.004	0	0.33	664.75	225.21
GLP	0	0.00	0.00	0	0.02	0.02	49.13	16.64
Gasolina	0	0.00	0.02	0	0.00	0.02	32.54	11.02
Gas natural	0	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

Combustibles formulados	0	0.003	0	0	0.00	0.003	5.50	1.86
Coque de petróleo	0	0.02	0	0	0.00	0.02	48.90	16.57
Leña	0	0.01	0	0	0.15	0.15	308.86	104.64
Total	0.09	0.14	0.25	0.004	0.17	0.66	1312.25	444.57

5.1.5.3 Benchmarking de las emisiones de CO₂

5.1.5.3.1 Benchmarking de las emisiones de CO₂ en la zona de estudio con respecto a las estatales.

La tabla 24 presenta una evaluación comparativa de las emisiones totales de CO₂ y de otros gases distintos del CO₂ en el VM, con respecto a las emisiones estatales reportadas en el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del estado de Hidalgo, PEACCH (Otazo-Sanchez et al., 2013). En la tabla 24 no aparece el porcentaje de emisiones de CN, debido a que en el PEACCH no se incluyó y además no existe algún precedente de investigación de CN en el estado. Asimismo, se tiene que el porcentaje de emisiones de metano es mayor en el VM que en el estado; se infiere que posiblemente se deba a las emisiones residenciales de leña en VM, dado que el dato de leña no se obtuvo para la estimación estatal.

Tabla 24 Benchmarking de las emisiones de CO₂, de gases No-CO₂ y de carbono negro, en el Valle del Mezquital y el estado de Hidalgo. Año base 2005

	CO ₂	CN	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
Estado de Hidalgo^a	18570.2	-	1.32	0.16	75.45	266.44	43.33	318.76
Valle del Mezquital	13894.9	0.66	1.44	0.10	42.94	93.82	16.80	255.89
(%) Emisiones	75		109	63	57	35	39	80

En la Figura 17 es notoria la relevancia del Valle del Mezquital en la participación estatal de emisiones de GEI y de otros gases contaminantes. Destacan sobre todo las emisiones

de CO₂ (13,894.9 Gg), que constituyen tres cuartas partes de las emisiones de todo el estado en la categoría de energía (18,570.2 Gg CO₂) (Otazo-Sanchez et al., 2013). Asimismo, sobresalen las emisiones de SO₂ (255,9 Gg), que representan el 80% de las emisiones estatales (318.8 Gg SO₂).

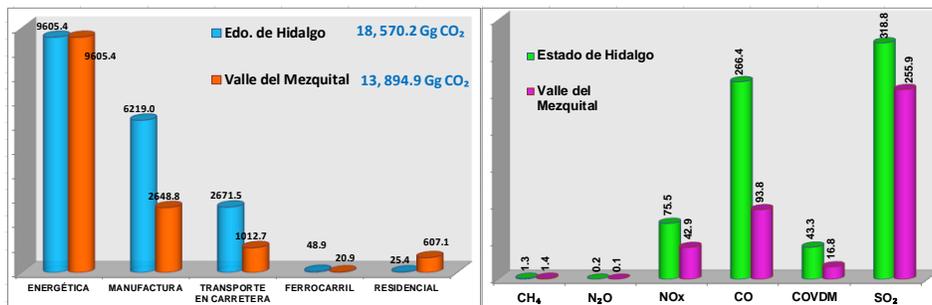


Figura 17. Benchmarking de las emisiones de CO₂ y otros gases No-CO₂ en el Valle del Mezquital y el estado de Hidalgo, año base 2005

5.1.5.3.2 Benchmarking de las emisiones de CO₂ del Valle del Mezquital, el estado de Hidalgo y México

Se llevó a cabo un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la zona de estudio con los estatales y nacionales, acerca de las *emisiones per cápita de CO₂* en la categoría energía, así como de la *intensidad energética*. Para ello se utilizaron los datos totales de población, emisiones de CO₂, consumo energético y producto interno bruto. Las emisiones per cápita de CO₂ en el VM (17.7 t CO₂ / persona), resultaron ser 2.2 veces mayores que las emisiones per cápita en el estado de Hidalgo (7.9 t CO₂/persona y 5 veces mayor que las del país (3.5 t CO₂/persona). Análogamente, resultaron las mismas proporciones en el análisis de la intensidad energética. Ello se debe al rol importante que desempeña el valle como proveedor de energía en la parte central del país. Los elementos involucrados en la evaluación comparativa se proporcionan en la Tabla 25.

Tabla 25 Benchmarking de la intensidad energética y las emisiones per cápita en el Valle del Mezquital – Estado de Hidalgo - México

	Consumo (TJ)	PIB* (pesos, \$)	CO ₂ (Gg)	Intensidad Energética (kJ/\$ PIB)	Emisiones per cápita (t CO ₂ /person)
Valle del Mezquital	194949.8	40673413036 ^c	13894.9	4793.1	17.7
Estado de Hidalgo	269401.2 ^a	1.32882E+11 ^c	18570.2 ^a	2027.4	7.9
México	7689500 ^b	8.11E+12 ^b	364249 ^d	947.7 ^b	3.5

*Producto interno bruto

a: (Otazo-Sanchez et al., 2013)

b: (SENER, 2011b). Página 113.

c: (INAFED, 2005)

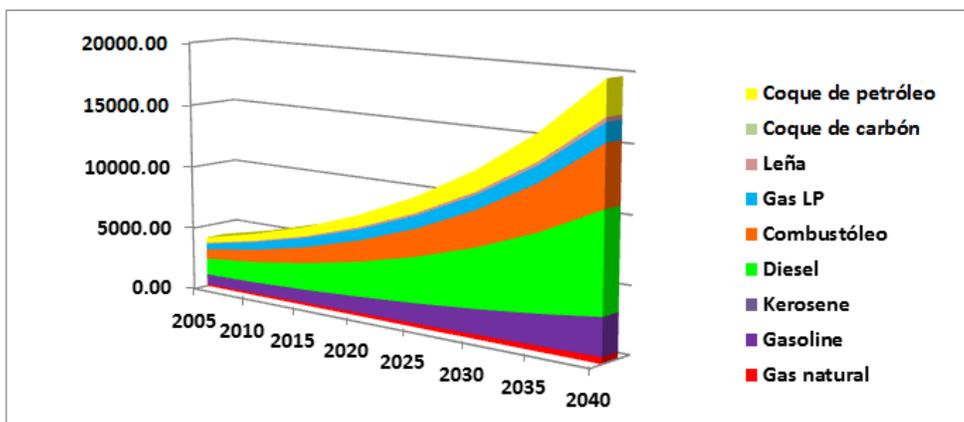
d: (INECC, 2006). Página 72.

5.2 Escenario inercial o BAU

En este escenario se obtuvieron las emisiones para el VM durante el periodo 2005-2040. Éstas son proyecciones incrementadas de la situación real de emisiones basadas en el año de referencia. Los incrementos obtenidos anualmente, reflejan únicamente los cambios dictados por las tasas de crecimiento en las variables de consumo, sin considerar medidas de mitigación ni sustituciones de fuentes. Esta información es muy importante porque permite analizar las tendencias proyectadas en el VM, sobre todo en las fuentes causantes de las mayores emisiones tanto de GEI, como de carbono negro.

El escenario inercial representa la situación de emisiones de GEI y de contaminación atmosférica que se tendría en el valle, si no se toma alguna acción correctiva o mitigatoria al respecto y se continúa con el mismo patrón de consumo de combustibles fósiles y quema de biomasa.

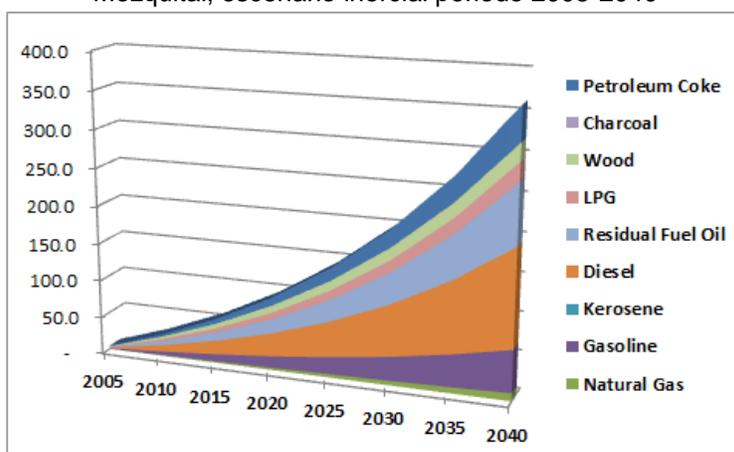
Debido a la enorme diferencia de emisiones de GEI entre los distintos sectores del VM, los datos respectivos no son apreciables en un solo gráfico, es por eso que se presentan por separado. La figuras 18 y 19 presentan las emisiones totales de GEI por tipo de combustible en los sectores transporte, industria de manufactura y el residencial (con los sectores integrados: comercial, turismo, institucional y servicios). Los resultados previsibles del potencial de emisiones de GEI en unidades equivalentes de CO₂, proyectados para el VM se muestran en la figura 18, en valores absolutos (es decir, los emitidos en un año específico), y los valores acumulativos respectivamente.



Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO₂ eq.) Valle del Mezquital, escenario inercial

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	153.59	176.44	205.11	241.25	286.99	345.07	419.01	513.36
Gasoline	797.22	874.45	1031.75	1261.71	1543.40	1888.60	2311.77	2830.74
Kerosene	0.70	1.03	1.24	1.48	1.69	1.92	2.19	2.49
Diesel	1314.76	1665.24	2131.37	2741.59	3526.97	4537.88	5839.14	7514.26
Combustibleo	776.16	999.12	1286.43	1656.47	2133.09	2747.01	3537.81	4556.48
Gas LP	458.20	626.48	739.20	865.60	978.06	1105.37	1249.50	1412.70
Leña	72.36	99.46	124.12	154.28	188.34	230.78	283.83	350.31
Coque de carbón	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coque de petróleo	447.25	576.28	742.53	956.73	1232.73	1588.36	2046.57	2636.97
Total	4,020.25	5,018.50	6,261.76	7,879.10	9,891.28	12,444.99	15,689.82	19,817.32

Figura 18. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO₂ eq.), en valores absolutos por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

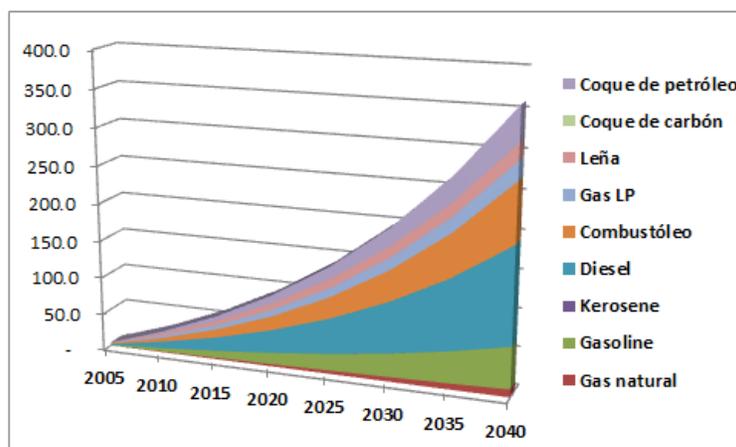


Potencial de emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero (millones de toneladas métricas de CO₂ eq.) por tipo de combustible en el Valle del Mezquital, escenario inercial

Combustibles	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Natural Gas	0.2	1.0	2.0	3.1	4.4	6.0	8.0	10.3
Gasoline	0.8	5.0	9.8	15.6	22.7	31.5	42.1	55.2
Kerosene	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diesel	1.3	8.9	18.6	31.0	47.0	67.5	94.0	128.1
Residual Fuel Oil	0.8	5.3	11.1	18.6	28.3	40.7	56.8	77.4
LPG	0.5	2.9	5.6	8.6	12.0	15.8	20.0	24.7
Wood	0.5	3.4	6.3	9.4	12.5	15.8	19.2	22.6
Charcoal	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
Petroleum Coke	0.4	3.1	6.4	10.8	16.3	23.5	32.8	44.7
Total	4.5	29.5	59.8	97.1	143.3	200.9	272.8	363.0

Figura 19. Potencial de emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero (miles de Gg CO₂ eq.) por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial

La Figura 20 muestra las emisiones totales de dióxido de carbono (Gg CO₂), por tipo de combustible en el Valle del Mezquital. Los combustibles responsables de las mayores emisiones son: diésel, combustóleo, gasolina y coque de petróleo en los sectores mencionados. El gráfico muestra los resultados que se prevé tener, si se continúan las mismas prácticas de consumo de estos combustibles sin considerar alguna medida mitigatoria.



Emisiones de dióxido de carbono (millones de toneladas métricas de CO₂), por tipo de combustible. Escenario inercial en el Valle del Mezquital, periodo 2005-2040

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	0.2	1.0	1.9	3.1	4.4	6.0	7.9	10.3
Gasoline	0.8	4.9	9.7	15.5	22.5	31.2	41.8	54.8
Kerosene	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diesel	1.3	8.9	18.5	30.9	46.8	67.3	93.7	127.6
Combustóleo	0.8	5.3	11.1	18.6	28.2	40.6	56.6	77.2
Gas LP	0.5	2.9	5.6	8.6	11.9	15.6	19.8	24.5
Leña	0.5	3.2	5.9	8.8	11.8	14.9	18.1	21.3
Coque de carbón	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
Coque de petróleo	0.4	3.1	6.4	10.7	16.3	23.5	32.7	44.6
Total	4.4	29.2	59.1	96.1	142.0	199.2	270.7	360.4

Figura 20. Emisiones acumuladas de dióxido de carbono (Miles de Gg CO₂), por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040

En la Figura 21 es notorio el crecimiento ocurrido en el sector industrial, debido al consumo de los combustibles mencionados con anterioridad.

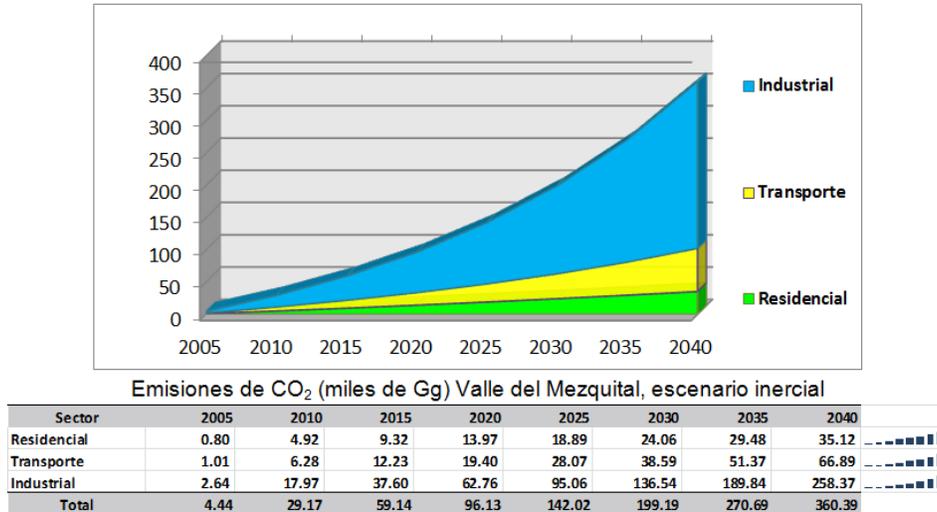


Figura 21. Emisiones acumuladas de dióxido de carbono (miles de Gg CO₂), en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Se muestran aparte en la figura 22 los resultados de la industria de materiales de construcción, para hacer notar que la mayor participación en emisiones dentro de la industria de manufactura, se debe principalmente a las empresas cementeras.

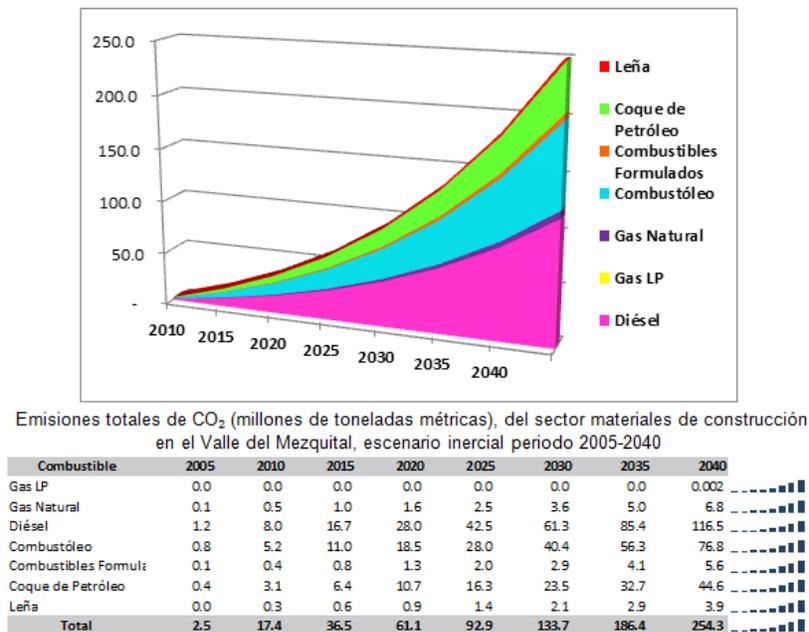


Figura 22. Emisiones acumuladas totales de CO₂ (miles de Gg) del sector de materiales de construcción en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

En forma similar, se presentan por separado las emisiones proyectadas para el sector de transformación de la energía, ya que estos resultados superan por mucho los valores obtenidos para los demás sectores. La figura 23 muestra el potencial de emisiones de

CO₂ en valores absolutos, para distinguir la proporción de aporte de cada unidad transformadora de energía en las emisiones que se estima tener para este sector en el periodo 2005 al 2040.

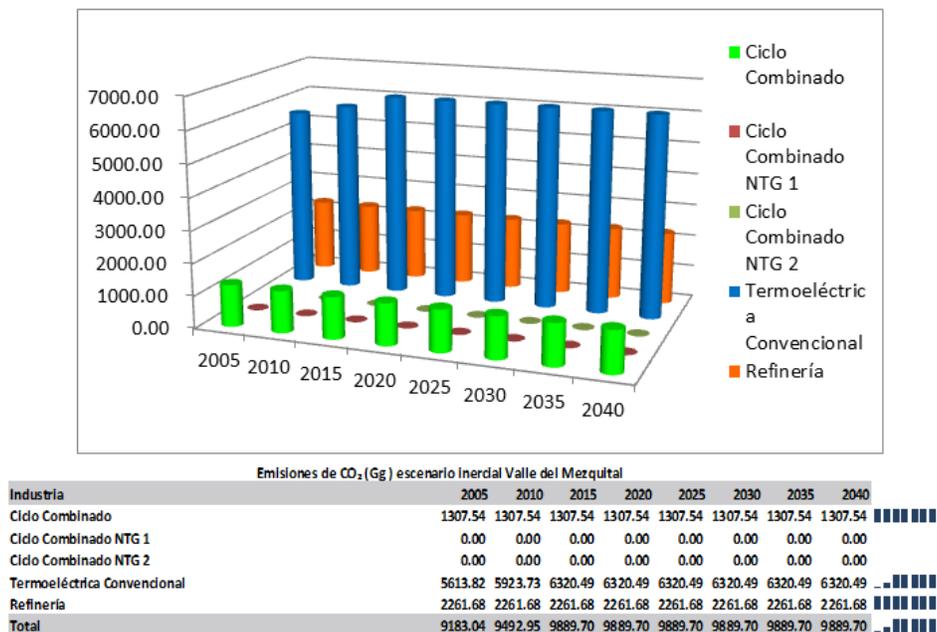


Figura 23. Emisiones absolutas de dióxido de carbono (Gg CO₂) de la industria de transformación de energía en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040. Y asimismo, en las figuras 24 y 25, se ve el potencial de emisiones acumuladas de CO₂ que se espera tener en el sector de la industria de transformación de la energía, por tipo de unidad generadora, y por tipo de combustible, respectivamente.

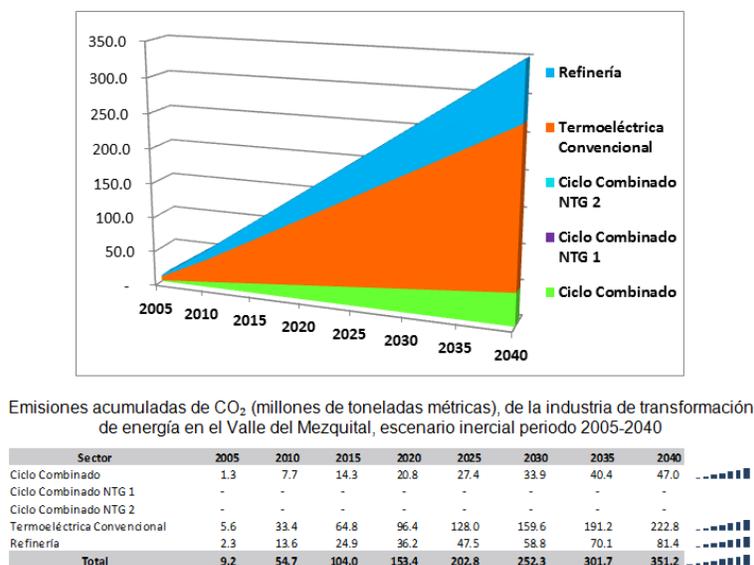
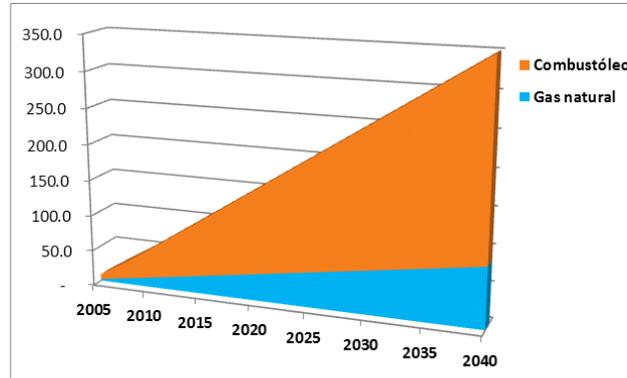


Figura 24. Emisiones acumuladas de CO₂ (miles de Gg), de la industria de transformación de energía en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

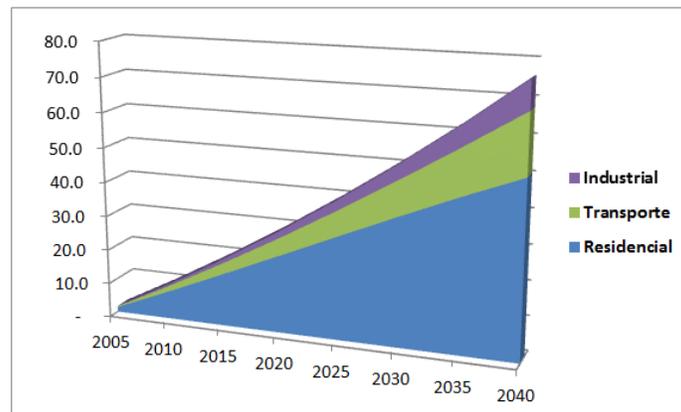


Emisiones acumuladas de CO₂ (millones de toneladas métricas), de la industria de transformación de energía en el Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	2.3	13.6	25.3	37.1	48.9	60.7	72.5	84.3
Combustóleo	6.9	41.1	78.6	116.3	153.9	191.6	229.3	266.9
Total	9.2	54.7	104.0	153.4	202.8	252.3	301.7	351.2

Figura 25. Emisiones acumuladas de CO₂ (miles de Gg), por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

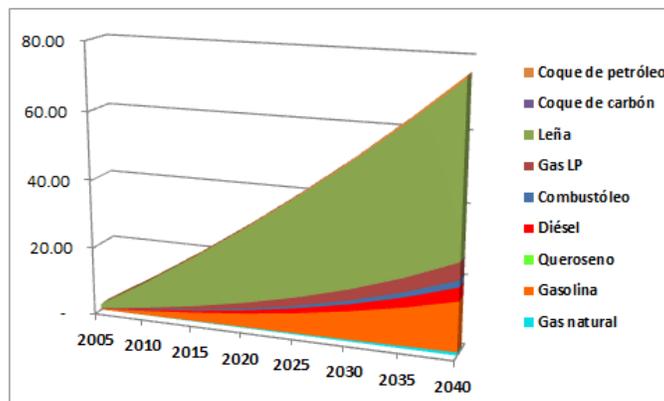
Las tendencias de crecimiento en las emisiones de metano, debidas al tipo de sector, y al tipo de combustible usado, se observan en las Figuras 26 y 27 respectivamente. Es muy evidente que las emisiones de metano en la categoría energía del VM, son producidas por la combustión de leña en el sector residencial; seguidas por las emisiones producidas por la quema de gasolina, diésel y gas LP en los sectores del transporte e industrial.



Emisiones de metano (miles de toneladas métricas de CH₄) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Residencial	1.3	8.2	15.3	22.5	29.7	36.9	43.9	50.5
Transporte	0.3	1.7	3.2	5.1	7.3	10.0	13.3	17.2
Industrial	0.1	0.6	1.2	2.0	3.1	4.4	6.1	8.2
Total	1.7	10.5	19.7	29.6	40.1	51.3	63.3	76.0

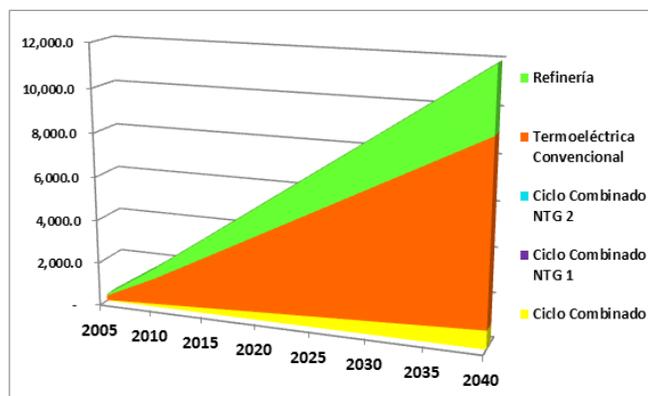
Figura 26. Emisiones acumuladas de metano (miles de toneladas métricas de CH₄), por el consumo de combustibles en el Valle del Mezquital, periodo 2005-2040.



Emisiones de metano (Gg de CH₄) por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040

Combustibles	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	0.01	0.09	0.17	0.28	0.40	0.54	0.71	0.92
Gasolina	0.21	1.33	2.60	4.13	6.00	8.27	11.04	14.40
Queroseno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diésel	0.04	0.28	0.58	0.96	1.45	2.08	2.89	3.93
Combustóleo	0.02	0.14	0.29	0.49	0.74	1.06	1.48	2.02
Gas LP	0.09	0.59	1.14	1.76	2.44	3.20	4.04	4.98
Leña	1.31	7.96	14.80	21.76	28.76	35.70	42.42	48.77
Coque de carbón	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Coque de petróleo	0.01	0.06	0.14	0.23	0.34	0.50	0.69	0.94
Total	1.70	10.46	19.72	29.60	40.13	51.34	63.28	75.98

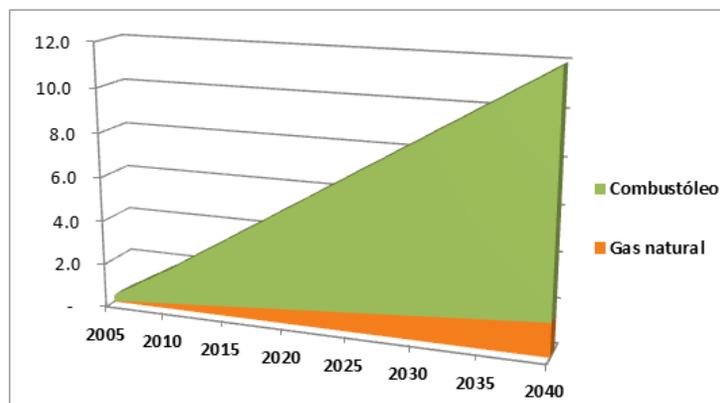
Figura 27. Emisiones acumuladas de metano (Gg de CH₄) por tipo de combustible en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, periodo 2005-2040. De la misma forma, en las figuras 28 y 29 se presentan las emisiones acumuladas de metano en la industria de transformación de la energía, por tipo de unidad generadora y por tipo de combustible, respectivamente.



Emisiones de metano (toneladas métricas de CH₄) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ciclo Combinado	23.4	138.8	255.9	373.0	490.1	607.2	724.4	841.5
Ciclo Combinado NTG 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclo Combinado NTG 2	-	-	-	-	-	-	-	-
Termoeléctrica Convencional	207.1	1,231.5	2,389.8	3,555.5	4,721.2	5,886.9	7,052.5	8,218.2
Refinería	80.7	484.1	887.6	1,291.0	1,694.4	2,097.9	2,501.3	2,904.7
Total	311.2	1,854.4	3,533.2	5,219.5	6,905.7	8,592.0	10,278.2	11,964.4

Figura 28. Emisiones acumuladas de metano (toneladas métricas de CH₄) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

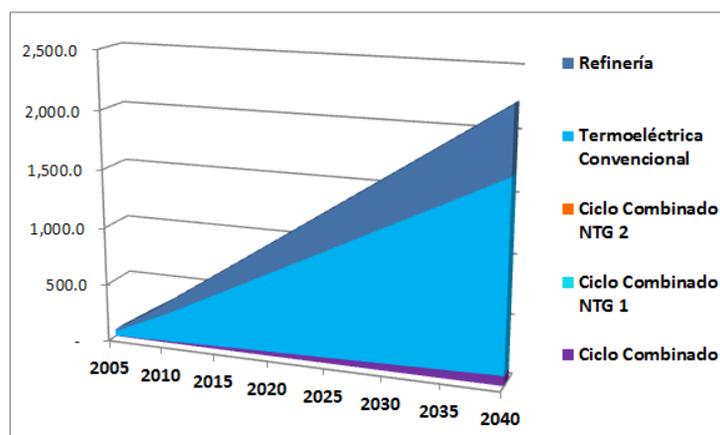


Emisiones de metano (miles de toneladas métricas de CH_4) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	0.0	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
Combustóleo	0.3	1.6	3.1	4.6	6.0	7.5	9.0	10.5
Total	0.3	1.9	3.5	5.2	6.9	8.6	10.3	12.0

Figura 29. Emisiones acumuladas de metano (miles de toneladas métricas de CH_4) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

En las figuras 30 y 31 se distingue claramente que las emisiones de óxido nitroso se atañen en su mayoría los procesos de la termoeléctrica convencional, relacionados por la quema de combustóleo.



Emisiones de óxido nitroso (toneladas métricas de N_2O) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ciclo Combinado	2.3	13.9	25.6	37.3	49.0	60.7	72.4	84.1
Ciclo Combinado NT	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclo Combinado NT	-	-	-	-	-	-	-	-
Termoeléctrica Conv	40.3	239.9	465.5	692.6	919.6	1,146.7	1,373.7	1,600.8
Refinería	15.5	92.8	170.2	247.5	324.9	402.3	479.6	557.0
Total	58.1	346.6	661.3	977.4	1,293.5	1,609.7	1,925.8	2,241.9

Figura 30. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N_2O) en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

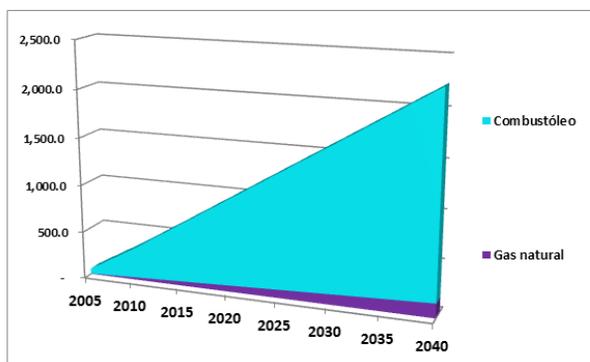
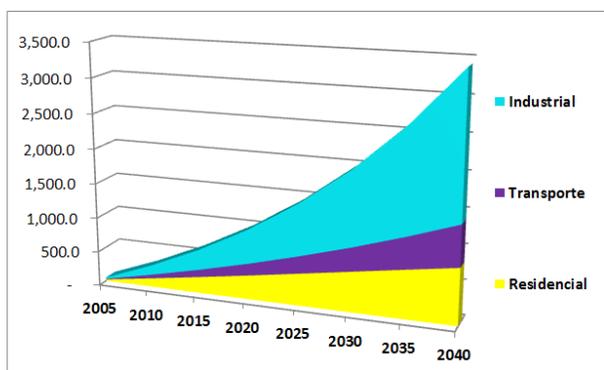


Figura 19. Emisiones de óxido nitroso (toneladas métricas de N₂O) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas natural	4.1	24.3	45.4	66.5	87.6	108.7	129.9	151.0
Combustóleo	54.1	322.3	615.9	910.9	1,205.9	1,500.9	1,795.9	2,090.9
Total	58.1	346.6	661.3	977.4	1,293.5	1,609.7	1,925.8	2,241.9

Figura 31. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N₂O) por tipo de combustible consumido en la industria de transformación de energía del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

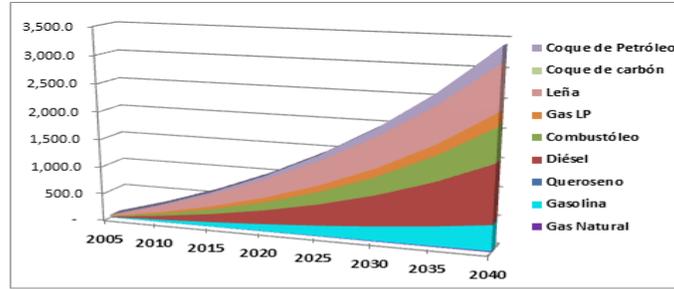
Sin embargo, las emisiones de óxido nitroso en el sector energético, son superadas por las emisiones del mismo gas (N₂O) en los sectores de la industria de manufactura, residencial y transporte, nombrados en orden de importancia, las cuales se pueden ver en la Figura 32. Los combustibles responsables de las emisiones más grandes de N₂O en los sectores mencionados, también en jerarquía de importancia, son el diésel, leña, combustóleo y gasolina, mostrados en la Figura 33.



Emisiones de óxido nitroso (toneladas métricas de N₂O) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Residencial	20.4	124.8	233.4	345.5	460.1	576.3	692.2	806.0
Transporte	8.9	55.1	107.3	170.1	246.0	337.9	449.3	584.6
Industrial	20.4	139.4	292.4	489.3	742.6	1,068.7	1,488.5	2,029.0
Total	49.6	319.3	633.2	1,004.9	1,448.8	1,982.9	2,630.1	3,419.6

Figura 32. Emisiones acumuladas de óxido nitroso (toneladas métricas de N₂O) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040



Emisiones acumulativas de óxido nitrógeno (toneladas métricas de N₂O) por tipo de combustible consumido en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Combustible	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gas Natural	0.3	1.8	3.5	5.5	7.9	10.8	14.2	18.5
Gasolina	6.7	41.6	81.3	129.5	188.4	260.3	347.9	455.0
Queroseno	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Diésel	10.7	72.6	151.4	252.8	383.2	550.9	766.8	1,044.5
Combustóleo	6.1	41.4	86.9	145.6	221.0	318.2	443.4	604.6
Gas LP	4.4	27.7	53.6	82.4	114.5	150.4	190.4	235.3
Leña	18.7	114.9	215.8	321.0	430.3	543.3	659.5	778.4
Coque de carbón	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coque de petróleo	2.8	19.3	40.6	66.1	103.4	148.9	207.6	283.1
Total	49.6	319.3	633.2	1,004.9	1,448.6	1,982.9	2,630.1	3,419.6

Figura 33. Emisiones acumuladas de óxido nitrógeno (toneladas métricas de N₂O) por tipo de combustible consumido en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040

Por otro lado, las emisiones de monóxido de carbono (CO) se hacen presente de forma abundante en el Valle del Mezquital, debido a la combustión de gasolina y diésel y gas LP, dominando en el sector transporte y en menor escala, por el gas LP, la leña y el diésel en los sectores residencial e industrial. Las tendencias en las emisiones de CO debido al sector y a las fuentes se pueden observar en las Figuras 34 y 35, respectivamente.

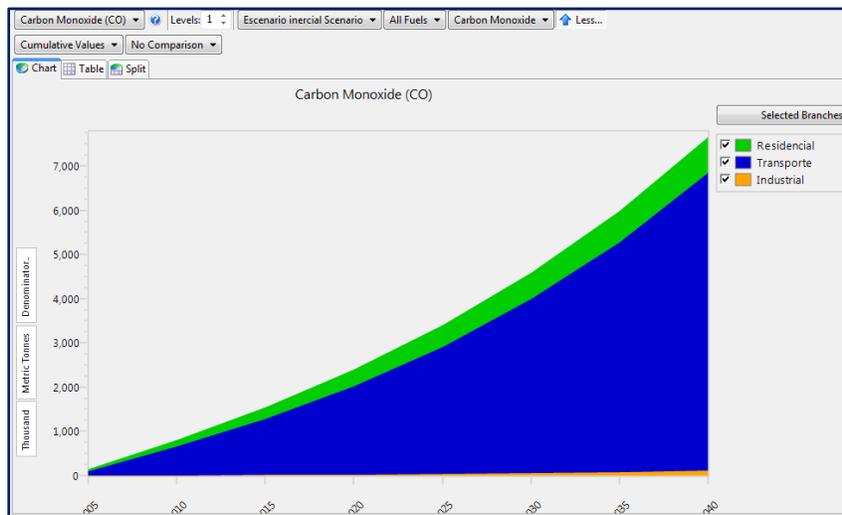


Figura 34. Emisiones acumuladas de monóxido de carbono (Gg de CO) en los sectores industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

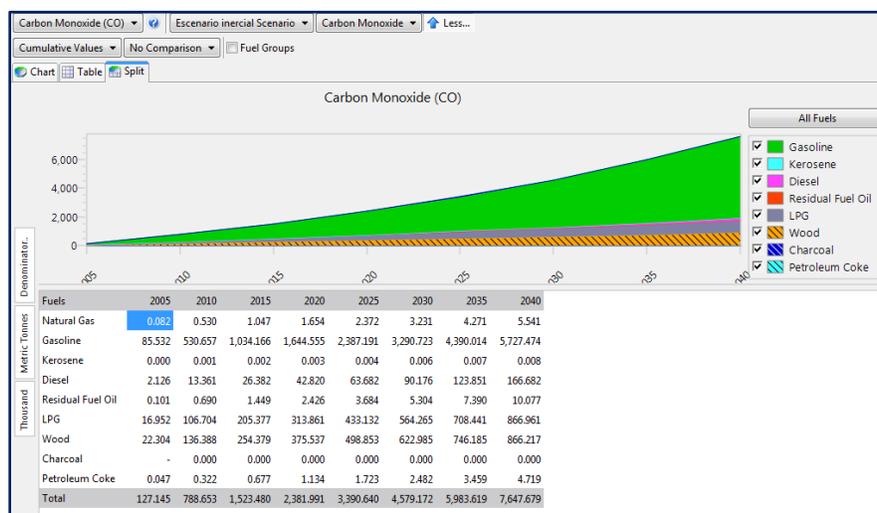


Figura 35. Emisiones acumuladas de monóxido de carbono (Gg de CO) por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

Las emisiones de óxidos de Nitrógeno (NOx) también son producidas principalmente por la quema de diésel, gasolina, combustóleo y coque de petróleo, tal como sucede con otras emisiones. Las tendencias de emisiones por el uso de estos combustibles se presentan en la Figura 36. Asimismo, la Figura 37 exhibe que las mayores fuentes de emisión de NOx en el VM señalan al sector transporte, seguido del sector de industria de manufactura y en menor escala al sector residencial.

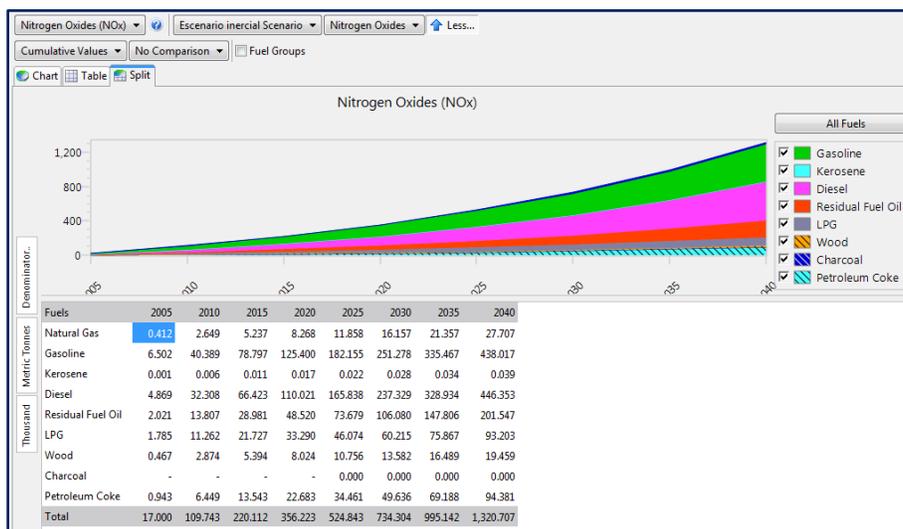


Figura 36. Emisiones acumuladas de óxidos de nitrógeno (Gg de NOx) por tipo de combustible quemado en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

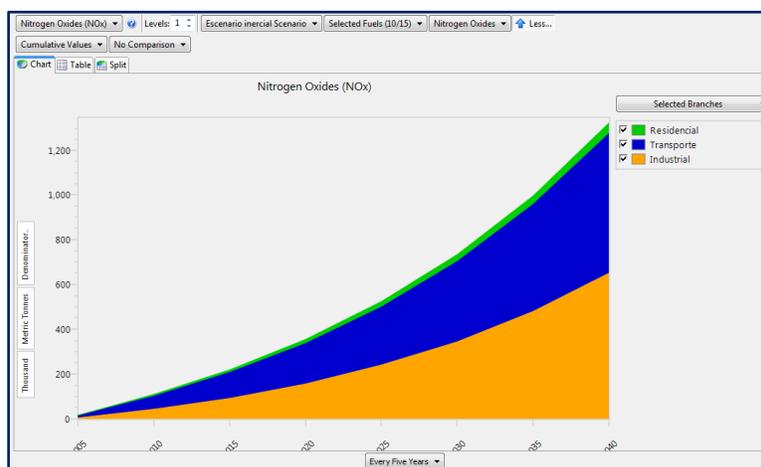


Figura 37. Emisiones acumuladas de óxidos de nitrógeno (Gg de NOx) en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

En la Figura 38 es claro que las emisiones más importantes de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) en el VM conciernen al sector transporte principalmente, seguido del sector residencial y en un grado mínimo, al sector de industria de manufactura. En la Figura 39 se observa que las emisiones mayores de COVDM son por la quema de gasolina en el transporte y en menor proporción, gas LP y diésel. Mientras que el consumo de gas LP y leña se vincula a los usos del sector residencial.

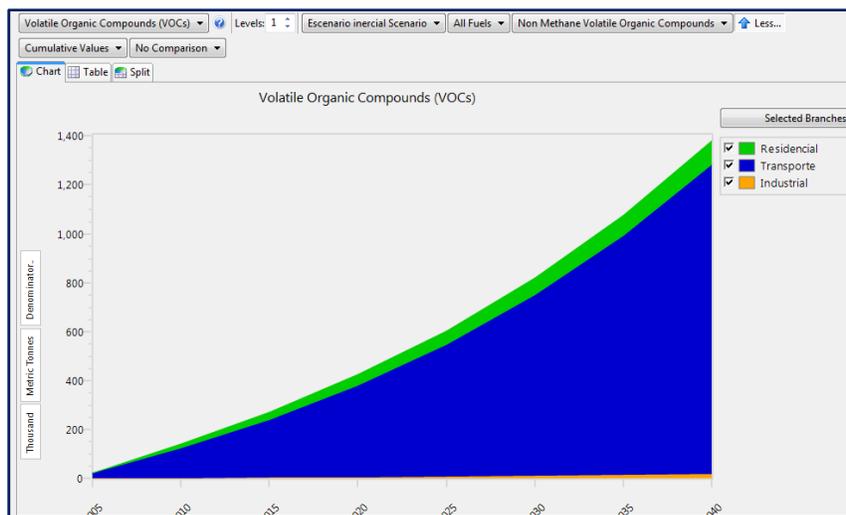


Figura 38. Emisiones acumuladas de Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (Gg de COVDM), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

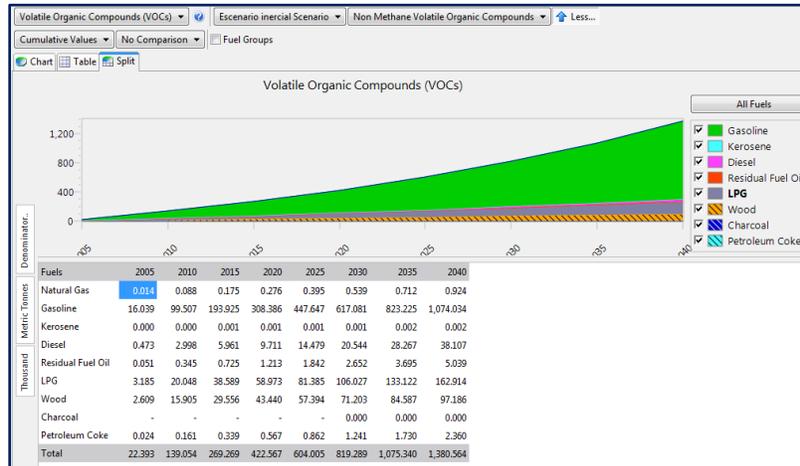


Figura 39. Emisiones acumuladas de Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (Gg de COVDM) por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

De las emisiones proyectadas en el escenario inercial, las emisiones de dióxido de azufre son de las más preocupantes, por ser un compuesto muy perjudicial, precursor de la lluvia ácida. Estas emisiones reflejan la consecuencia de no realizar alguna acción de mitigación en las fuentes de emisión por el uso de combustibles con alto contenido de azufre, como son el coque de petróleo, el combustóleo y el diésel, mostrados en la Figura 40. En la Figura 41 se aprecia que estos combustibles son ampliamente utilizados en la industria de manufactura, (especialmente en las cementeras), cuyo sector domina en este tipo de emisiones.

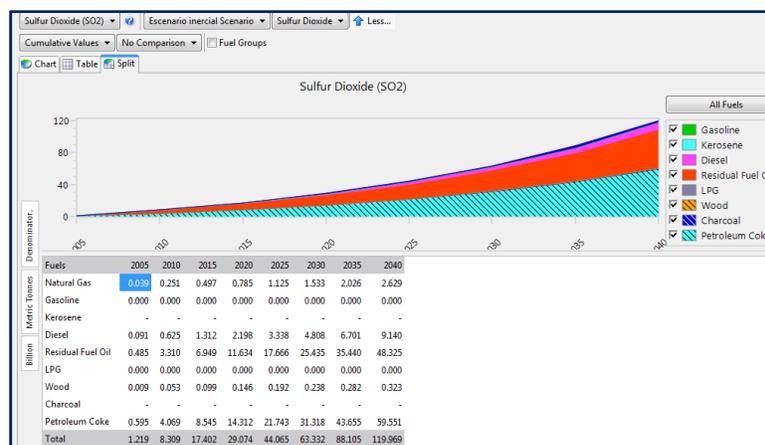


Figura 40. Emisiones acumuladas de dióxido de azufre (Gg de SO₂), por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

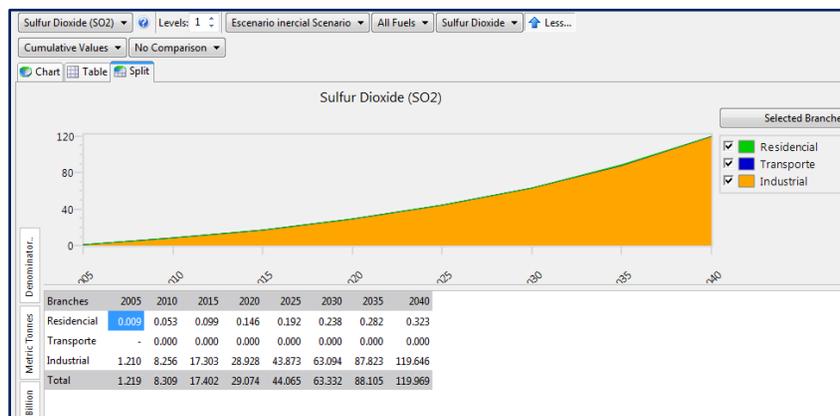


Figura 41. Emisiones acumuladas de dióxido de azufre (Gg de SO_2), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

El escenario inercial para el carbono negro, muestra en la figura 42 un incremento mayor en el sector de la industria de manufactura; éstas producen impactos locales que afectan la calidad del aire y la salud. En la figura 43 se distingue que las emisiones de CN se relacionan al consumo de diésel, combustóleo, leña y coque de petróleo en los sectores analizados.

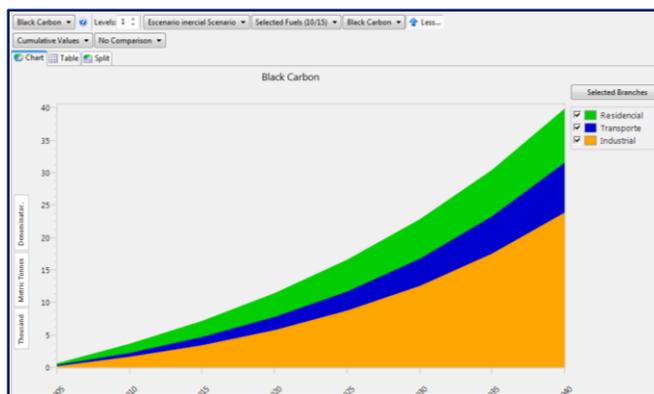


Figura 42. Emisiones acumuladas de carbono negro (Gg de CN), en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

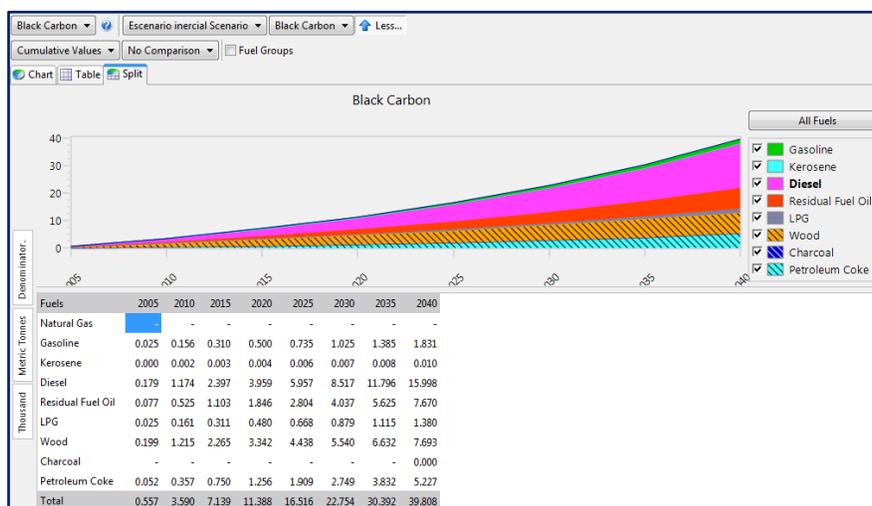


Figura 43. Emisiones acumuladas de carbono negro (Gg de CN), por el consumo de combustibles en los sectores de industria de manufactura, transporte y residencial del Valle del Mezquital, escenario inercial periodo 2005-2040.

Como se puede observar en todos los epígrafes anteriores, el crecimiento industrial, de población y vivienda, conllevaría a un aumento de demanda tal que solamente en el año 2040 (figuras 21 y 24), pasarían las emisiones de 9.2 miles de Gg de CO₂ a 351.2 Gg de CO₂. En especial, se observa en la figura 21 que el sector industrial presenta un desarrollo brutal de emisiones. Si no se prevén acciones de mitigación, se tendrá un crecimiento alarmante de emisiones en este sector.

5.3 Escenarios de mitigación

Estos escenarios incluyen las medidas de mitigación de GEI y el potencial de abatimiento estimado para éstas. De entre los usos y fuentes en los diversos sectores de emisión en el VM, se eligieron cuatro escenarios para realizar los análisis de mitigación de GEI y su comparación con el escenario inercial (BAU), mediante la estimación de emisiones de GEI evitadas en cada caso. El análisis de los respectivos escenarios de mitigación, fue posible mediante el uso del software LEAP; esta sofisticada herramienta permitió la construcción de una compleja estructura de datos para modelar los escenarios. Los usos y fuentes elegidos para ejemplificar los escenarios con las acciones de mitigación fueron las siguientes:

- Iluminación (sustitución de focos incandescentes por “focos ahorradores”).
- Uso de calentador solar.
- Uso de estufa Patsari.
- Introducción de una nueva tecnología de generación de energía eléctrica.

5.3.1 Escenario “Iluminación”

En datos oficiales de las comunicaciones nacionales presentadas por el INECC ante la CMNUCC, se reconoce que el sector de generación de energía, así como sus diversos usos, son las actividades que más contaminan e impactan al medio ambiente; en México el 60.4% de emisiones de GEI provienen de este sector. Por tal razón, la eficiencia energética es primordial para reducir las emisiones del sector.

El uso de iluminación con electricidad es considerado un área de oportunidad para alcanzar ahorros sustanciales en el sector residencial, debido a un óptimo aprovechamiento de la energía. Con esta intención, el gobierno federal ha impulsado desde 1991 (con el proyecto Ilumex), los planes y programas de sustitución de focos incandescentes por focos fluorescentes, y con ello lograr ahorros de gasto de energía eléctrica y evitar emisiones de CO₂. Esta iniciativa alcanzó mayor impulso a partir del año 2010, con la Propuesta de ley para prohibir la comercialización de lámparas incandescentes en México, y aún más con la posterior aprobación de ésta un año después. Aunque en ese entonces se señaló que los focos fluorescentes, llamados “ahorradores”, consumen 75% menos energía y duran 10 veces más, a la fecha existen

diversas controversias por su uso, incluyendo la duración de éstos. Por lo anterior, se prevé que a futuro prevalezcan las lámparas LED con una mayor penetración gradual, dado que éstas representan un gran ahorro por su bajo consumo de energía (entre 10% y 15% de las incandescentes) y una mayor vida útil.

El uso de focos incandescentes representa más del 90% de la iluminación en las viviendas del Valle del Mezquital, tanto en localidades urbanas, como rurales que tienen servicio de energía eléctrica. El plan de sustitución modelado en LEAP, se muestra en la tabla 26.

Tabla 26 Uso de focos en la iluminación de viviendas en el Valle del Mezquital, tanto urbanas como rurales con servicio de energía eléctrica.

Subsector/Fuente		Año					
		2010	2015	2020	2025	2030	2040
Urbano	Focos incandescentes	65	40	30	20	10	0
	Focos fluorescentes	35	55	55	50	45	40
	LEDs	0	5	15	30	45	60
Rural con EE	Focos incandescentes	65	40	30	20	10	0
	Focos fluorescentes	35	55	55	50	45	40
	LEDs	0	5	15	30	45	60
Rural sin EE	Queroseno	100	100	100	100	100	100

La figura 44 muestra las unidades finales de demanda de energía por el uso de iluminación en el sector residencial, proyectadas hasta el año 2040. Se estima alcanzar para ese último año, un ahorro de 250 TJ en demanda de energía. En este escenario no aparecen emisiones de CO₂ por el consumo de energía eléctrica, ya que éstas se han contabilizado en su proceso de generación; es decir, que ya están contadas en las emisiones de las termoeléctricas del VM.

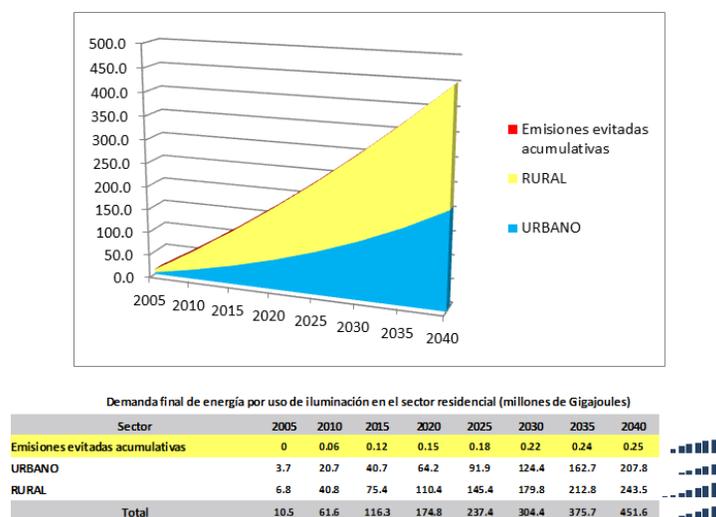


Figura 44. Demanda final de energía (millones de GJ), escenario de iluminación en el sector residencial en el Valle del Mezquital.

5.3.2 Escenario “Calentador solar”

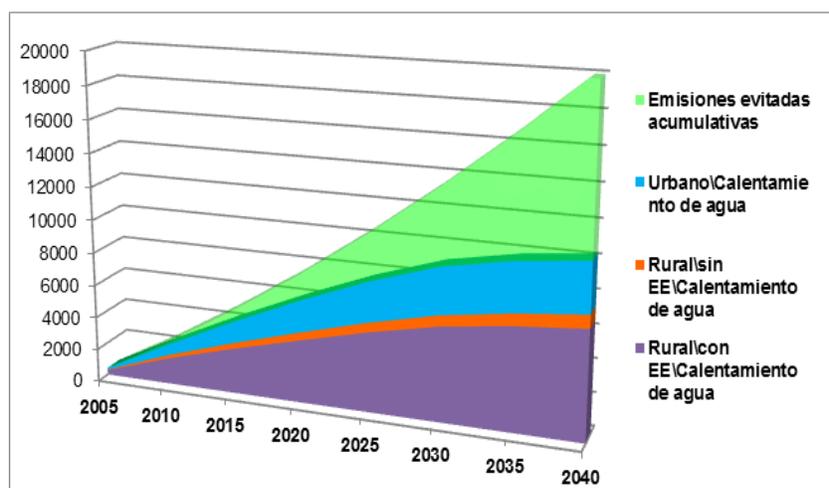
Es ampliamente recomendado el uso de energía solar para sustituir los combustibles que se utilizan comúnmente para calentar el agua -como son: el gas LP, leña o residuos de biomasa, no sólo en el Valle del Mezquital, sino en cualquier lugar del planeta donde al menos una tercera parte del día prevalezca un clima soleado que favorezca el aprovechamiento de esta energía alternativa. Los calentadores solares son dispositivos provistos con un sistema que recibe la radiación electromagnética del sol y la transforma en calor. Esta energía calienta el agua que usamos cotidianamente en el aseo personal, en el lavado de ropa, en la cocina, o en otros usos.

La energía solar que aprovechan los calentadores solares, posee muchas ventajas respecto a la energía obtenida a partir de combustibles fósiles para generar calor:

- Es energía renovable e inagotable (al sol le quedan millones de años de vida).
- Es energía limpia. No necesita algún proceso químico; no arroja a la atmósfera GEI ni sustancias contaminantes -como lo hacen la leña y el gas LP-, y por lo tanto, no incrementa el problema del cambio climático.
- Es autónoma. No necesita otro tipo de energía para funcionar (como ejemplo contrario, la energía eléctrica).

- La energía solar por sí misma no tiene costo. Y por otro lado, la inversión que representa instalar un calentador solar en una vivienda, se recupera en poco tiempo (de 4 a 6 años), ya que un calentador de gas LP consume gran cantidad de combustible. Se estima que la proporción de consumo de gas LP en una vivienda, es 80% para el boiler y 20% para la estufa. Un gran inconveniente del gas LP es su precio; es muy costoso y sigue en aumento.

La figura 45 muestra cómo influye este escenario en las emisiones totales de GEI para todo el sector residencial del VM. Se estima que para el año 2040, el uso de energía solar para calentar agua en lugar de los combustibles usuales en el VM, habrá evitado la emisión de 10,1287 Gg de CO₂ eq. a la atmósfera.



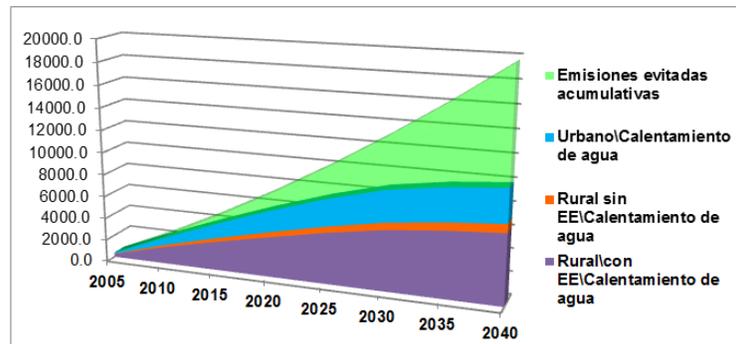
Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO₂ eq.) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas acumulativas	0	180	690	1543	2784	4529	7063	10127
Rural con EE/Calentamiento de agua	279	1587	2726	3772	4787	5655	6195	6561
Rural sin EE/Calentamiento de agua	38	211	350	476	575	652	727	799
Urbano/Calentamiento de agua	102	658	1291	1902	2406	2799	2956	2975
Total	419	2635	5057	7694	10552	13635	16941	20462

Figura 45. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg CO₂ eq.) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

En las figuras de la 46 a la 55 se observan las emisiones evitadas acumuladas de los GEI directos (CO₂, CH₄ y N₂O), prospectadas al año 2040, en el escenario de mitigación "Calentador solar", por el uso de calentamiento de agua en el sector residencial, tanto urbano como rural. En este escenario se modela la penetración gradual del calentador solar, con la consecuente disminución en la participación de los demás combustibles

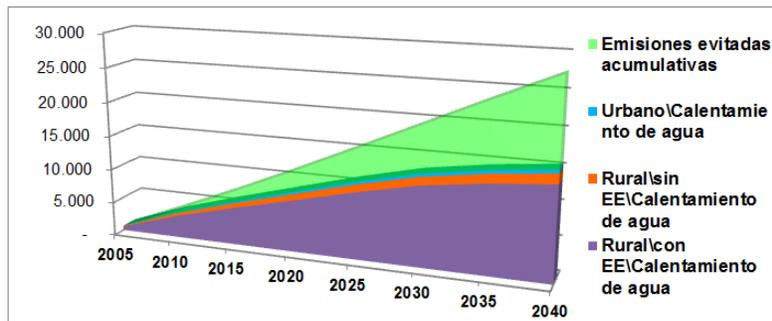
comúnmente usados en el VM para calentar agua, como son el GLP, la leña y el queroseno.



Emisiones de CO₂ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas acumulativas	0.0	170.0	652.1	1468.2	2667.5	4360.0	6822.9	9806.8
Rural con EE/Calentamiento de agua	264.3	1504.8	2587.4	3581.0	4541.0	5361.5	5870.4	6216.6
Rural sin EE/Calentamiento de agua	36.0	199.9	332.9	452.8	547.0	621.3	693.2	761.8
Urbano/Calentamiento de agua	101.8	653.7	1282.7	1889.9	2391.2	2781.1	2937.4	2955.8
Total	402.2	2528.5	4855.1	7391.9	10146.6	13123.9	16323.9	19741.0

Figura 46. Emisiones de CO₂ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"



Emisiones de CH₄ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas acumulativas	0	0.3947	1.499	2.94581	4.5436	6.5197	9.2294	12.2205
Rural con EE/Calentamiento de agua	0.577	3.231	5.450	7.535	9.681	11.584	12.778	13.591
Rural sin EE/Calentamiento de agua	0.079	0.426	0.689	0.920	1.087	1.209	1.328	1.443
Urbano/Calentamiento de agua	0.016	0.105	0.205	0.303	0.383	0.445	0.470	0.473
Total	0.672	4.157	7.844	11.703	15.695	19.757	23.807	27.728

Figura 47. Emisiones de CH₄ (miles de toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

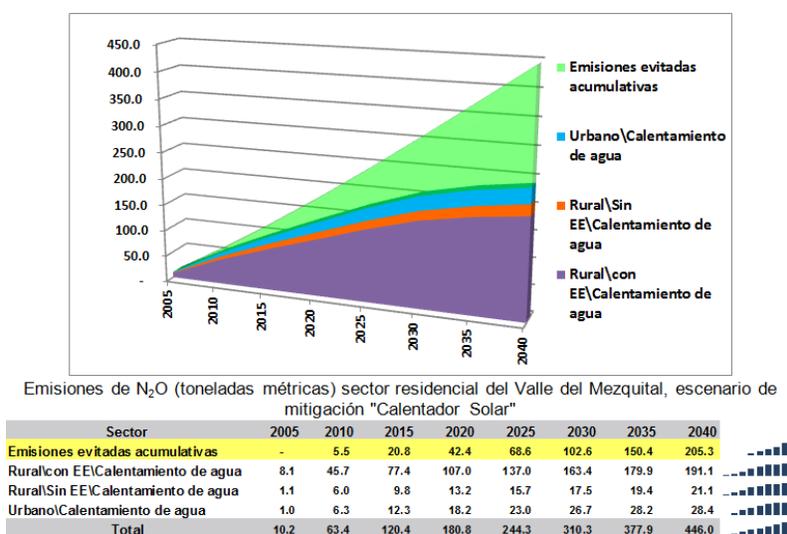


Figura 48. Emisiones de N₂O (toneladas métricas) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Calentador Solar"

El plan de reparto de los porcentajes de consumo de cada fuente se muestra a continuación en la tabla 27.

Tabla 27. Porcentajes de participación de fuentes (%) en el uso de *calentamiento de agua*, del sector residencial del VM, escenario "Calentador solar"

Subsector/Fuente		Año				
		2015	2020	2025	2030	2035
Urbano	Gas LP	85	60	40	25	1
	Solar	14	40	60	75	99
	Eléctrico	1	0	0	0	0
Rural con EE	Gas LP	55	40	30	20	10
	Leña	24.6	25	25	20	10
	Queroseno	0.4	0	0	0	0
	Solar	20	35	45	60	80
Rural sin EE	Gas LP	55	50	45	40	40
	Leña	20	20	10	10	10
	Queroseno	0	0	0	0	0
	Solar	25	30	45	50	50

La penetración del calentador solar al 100% es una medida muy importante en cuanto a la reducción de emisiones en el sector residencial (10,127 Gg de CO₂ eq de todos los gases al año 2040) y representa además un gran ahorro para la economía familiar.

5.3.3 Escenario “Estufa Patsari”

La estufa Patsari es una estufa ecológica de leña ya que posee una tecnología mejorada respecto a las estufas de leña tradicionales. Está compuesta por una caja de combustión cerrada, que reduce en un 50% el uso de leña; la superficie de cocción consiste en comales colocados encima del fuego, y tiene una chimenea que permite expulsar de la vivienda el 70% del humo producido, y con ello, disminuir los contaminantes nocivos para la salud dentro de la vivienda. Las estufas Patsari mejoran en un 50% la eficiencia de la combustión (Berrueta 2009), reduciendo en consecuencia, las emisiones de CO₂ y de otros compuestos causados por la combustión incompleta de la leña (Johnson et al 2009).

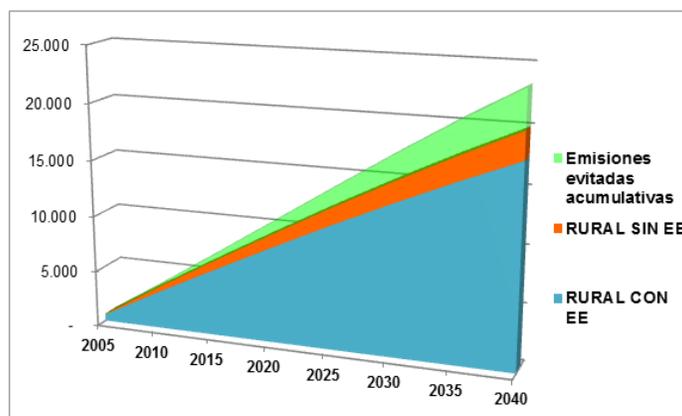
Se consideró importante incluir el escenario de mitigación de estufa Patsari en el Valle del Mezquital, ya que aproximadamente el 20 % de las viviendas rurales usan estufas de leña para cocinar, y un porcentaje menor utiliza también estufas de queroseno. En este escenario se recomienda cambiar los fogones abiertos de leña y queroseno, por las estufas mejoradas Patsari. Se asume que esta tecnología logrará el 100% de penetración para el año 2030, con la sustitución total de las estufas de leña, y mucho antes, con el reemplazo total de uso de queroseno para cocinar. La distribución de los porcentajes de consumo de cada fuente se presenta en la tabla 28.

Tabla 28. Porcentajes de participación de fuentes (%) en el uso de *cocción de alimentos*, del sector residencial del VM, escenario “Estufa Patsari”

Subsector/Fuente		Año			
		2010	2015	2020	2030
Rural con EE	Gas LP	65	65	65	70
	Estufa de Leña	25	15	10	0
	Estufa Patsari	10	20	25	30
Rural sin EE	Gas LP	65	65	65	70
	Estufa de Leña	25	15	10	0
	Estufa Patsari	10	20	25	30
	Queroseno	0	0	0	0

En la figura 49 se muestran los escenarios de emisiones con la introducción de la medida de mitigación relacionada con las estufas patsari o ahorradoras de energía. En la figura 50 se muestran los resultados de emisiones totales de GEI producidos por la quema de leña y queroseno dentro de los hogares, lo cual subraya la necesidad de mejorar en las

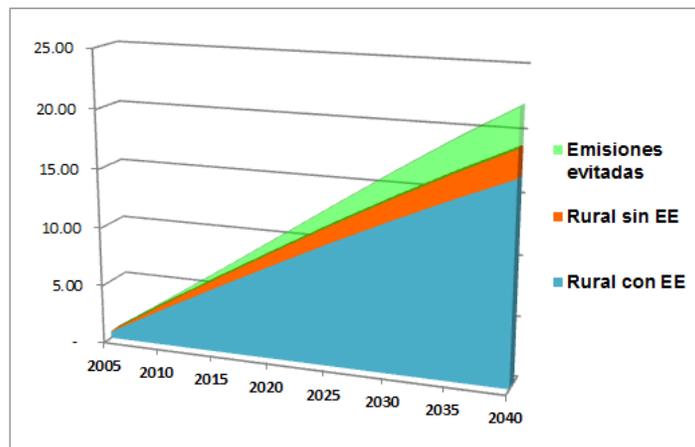
viviendas el acceso a estufas con mejor eficiencia en la combustión o a fuentes de energía menos contaminantes.



Emisiones de gases de efecto invernadero (millones de toneladas métricas equivalentes de CO₂) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas acumulativas	0	0.17	0.54	1.02	1.58	2.21	2.83	3.39
RURAL CON EE	0.560	3.260	5.849	8.388	10.863	13.230	15.494	17.619
RURAL SIN EE	0.076	0.444	0.797	1.143	1.481	1.803	2.112	2.402
Total	0.636	3.872	7.188	10.55	13.922	17.241	20.434	23.41

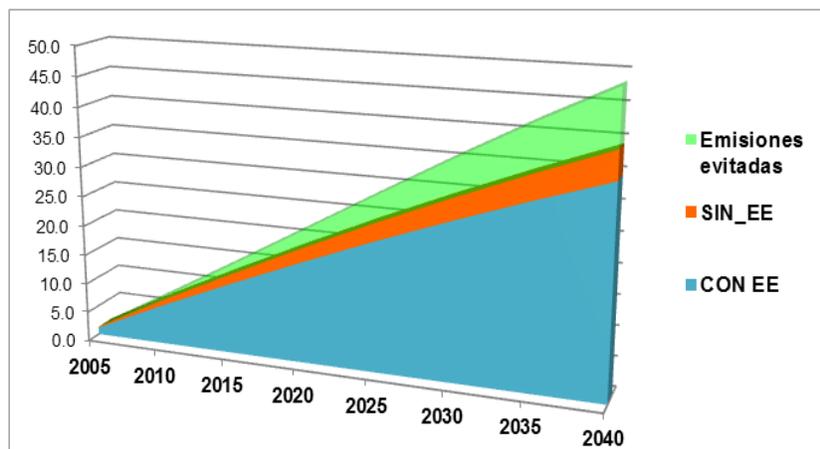
Figura 49. Emisiones de gases de efecto invernadero (miles de Gg de CO₂ eq.) sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"



Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (millones de toneladas métricas), sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas	-	0.16	0.51	0.95	1.47	2.06	2.64	3.16
Rural con EE	0.53	3.09	5.55	7.96	10.31	12.57	14.72	16.74
Rural sin EE	0.07	0.42	0.76	1.09	1.41	1.71	2.01	2.28
Total	0.60	3.67	6.81	10.00	13.19	16.34	19.36	22.18

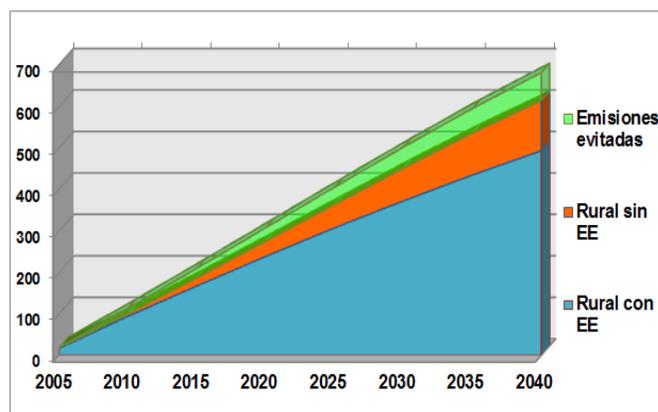
Figura 50. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (millones de toneladas métricas), sector residencial del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"



Emisiones de metano (CH₄) (miles de toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas	0	0.5	1.5	2.8	4.3	6.0	7.7	9.2
CON EE	1.2	6.6	11.8	16.8	21.6	26.1	30.5	34.5
SIN_EE	0.2	0.9	1.6	2.3	2.9	3.6	4.2	4.7
Total	1.3	8.0	14.9	21.8	28.8	35.7	42.3	48.5

Figura 51. Emisiones de metano (CH₄) (miles de toneladas métricas), sector residencial rural en el Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"



Emisiones de N₂O (toneladas métricas) Sector rural del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas	-	6.12	19.56	36.55	56.35	78.86	101.19	121.32
Rural con EE	16.30	93.87	167.02	238.28	307.19	372.41	434.59	493.11
Rural sin EE	2.21	12.77	22.75	32.46	41.86	50.75	59.23	67.21
Total	18.51	112.76	209.33	307.29	405.41	502.02	595.01	681.64

Figura 52. Emisiones de N₂O (toneladas métricas) Sector rural del Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Estufa Patsari"

En este escenario se tienen poca mitigación en cuanto a emisiones de CO₂; la mayor importancia del uso de estufa Patsari, va directamente relacionada al efecto de las emisiones de CO en la salud de las personas expuestas a éstas, dentro de la vivienda.

5.3.4 Escenario NTG: Introducción de una nueva tecnología de generación de electricidad

La información para modelar este escenario se obtuvo de las prospectivas del sector eléctrico, del año 2010 al año 2027; del “Programa de obras e inversiones del sector eléctrico”, (POISE 2014-2028); de la Comisión Federal de Electricidad, CFE; del Instituto Mexicano de Auditoría Técnica A. C., IMAT; del anuario estadístico 2005 de INEGI y de algunos trabajos de tesis relacionados con el tema.

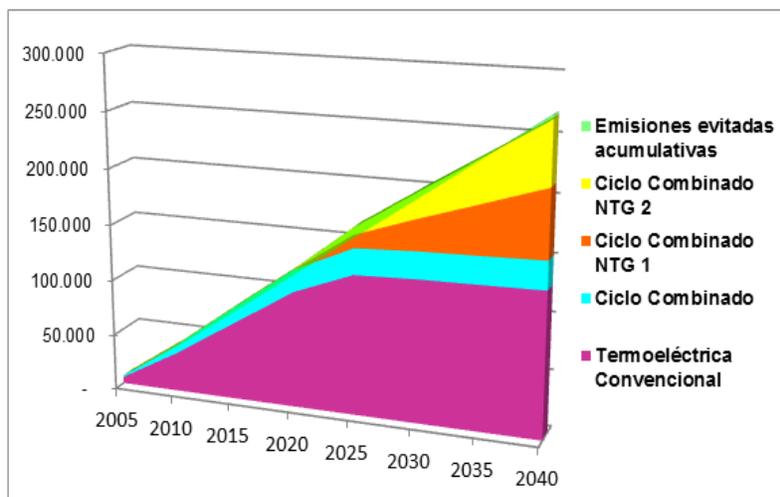
Las medidas principales de mitigación en la industria de generación de energía eléctrica del Valle del Mezquital radican en lo siguiente:

- a) La incorporación de una nueva tecnología de generación de ciclo combinado (CC/NTG), en reemplazo de la actual central termoeléctrica convencional Francisco Pérez Ríos. El cambio consiste en introducir ciclos combinados con eficiencia mejorada y nuevas tecnologías para generación distribuida; éste será implementado gradualmente, aumentando el consumo de gas natural en la termoeléctrica de Tula y eliminando el combustóleo totalmente en el año 2024.
- b) La rehabilitación y modernización de la central generadora de electricidad de ciclo combinado de Tula. Las mejoras consisten en aumentar los porcentajes de eficiencia y disponibilidad, así como la capacidad de generación (en MW) de los dos módulos de generación de la central.

Los programas de ejecución de ambas medidas se describen en la tabla 29.

De realizarse las mejoras y los cambios en las centrales termoeléctricas de Tula, conforme a lo anunciado en los documentos oficiales mencionados, se prevé tener una disminución fuerte de todas las emisiones de GEI de largo plazo y de carbono negro. La causa principal de la mengua es debido a la eliminación del combustóleo en los procesos de generación, ya que las centrales sólo utilizarán gas natural en las turbinas generadoras a partir del año 2024. Lo anterior coincide con la información reportada acerca del combustóleo, en la Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2014-2028, donde menciona que la refinería de Tula reducirá drásticamente la producción de combustóleo en 2024, año en que prácticamente dejará de producirlo.

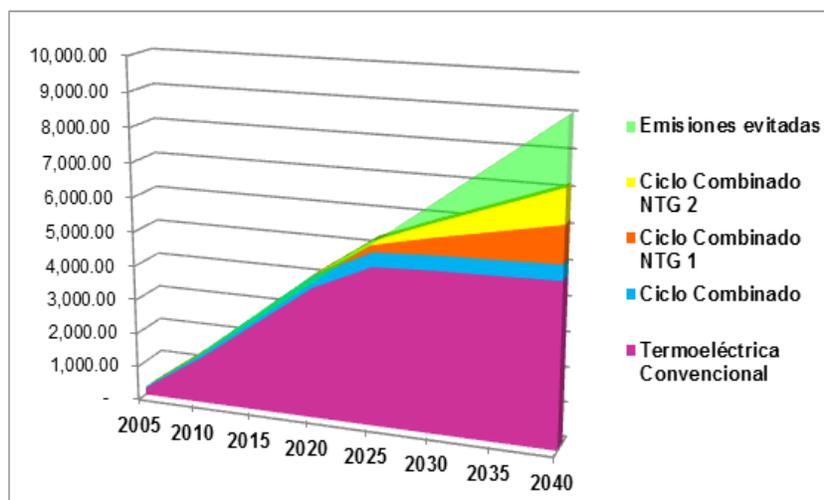
En transformación se modeló considerando un escenario en cual se asume que en la termoeléctrica convencional, sólo se eliminan tres turbinas en el año 2024 y se mantienen trabajando las otras 2 unidades generadoras. Las emisiones siguientes muestran las emisiones acumuladas que se estima serán evitadas en el periodo 2005-2040.



Emisiones de CO₂ (millones de toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas acumulativas	-	-1.943	-4.139	-4.897	-9.205	-5.714	-1.115	3.228
Termoeléctrica Convencional	5.614	35.330	68.929	102.741	123.728	125.798	126.712	127.795
Ciclo Combinado	1.308	7.745	14.283	19.368	23.120	23.809	24.276	24.829
Ciclo Combinado NTG 1	-	-	-	-	11.405	27.215	43.296	59.376
Ciclo Combinado NTG 2	-	-	-	-	6.305	22.385	38.465	54.545
Total	6.921	41.132	79.073	117.213	155.353	193.493	231.633	269.773

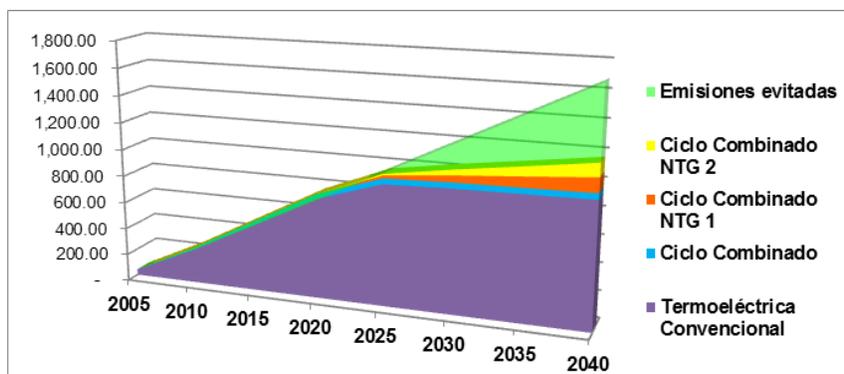
Figura 53. Emisiones de CO₂ (millones de toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"



Emissiones de metano (CH₄) (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas	-	-71.67	-152.67	-208.16	-83.96	538.85	1,203.44	1,860.23
Termoelectrica Convencional	207.07	1,303.16	2,542.49	3,789.68	4,563.80	4,640.14	4,673.84	4,713.79
Ciclo Combinado	23.42	138.75	255.88	346.98	414.19	426.53	434.89	444.80
Ciclo Combinado NTG 1	-	-	-	-	204.32	487.56	775.64	1,063.72
Ciclo Combinado NTG 2	-	-	-	-	112.95	401.02	689.10	977.18
Total	230.49	1,370.24	2,645.69	3,928.50	5,211.30	6,494.11	7,776.91	9,059.71

Figura 54. Emissiones de metano (CH₄) (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"



Emissiones de N₂O (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"

Sector	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Emisiones evitadas	-	-13.96	-29.74	-43.01	6.52	172.06	345.81	518.19
Termoelectrica Convencional	40.33	253.83	495.24	738.17	888.96	903.82	910.39	918.17
Ciclo Combinado	2.34	13.88	25.59	34.70	41.42	42.65	43.49	44.48
Ciclo Combinado NTG 1	-	-	-	-	20.43	48.76	77.56	106.37
Ciclo Combinado NTG 2	-	-	-	-	11.29	40.10	68.91	97.72
Total	42.677	253.75	491.087	729.856	968.625	1207.394	1446.163	1684.932

Figura 55. Emissiones de N₂O (toneladas métricas) Valle del Mezquital, escenario de mitigación "Nueva tecnología de generación eléctrica"

Considerando una sustitución parcial de la tecnología convencional por la de Ciclo Combinado (NTG) no se logra abatir con eficiencia las emisiones de CO₂ por el sector de transformación. Es

necesario eliminar totalmente las unidades de generación de combustóleo y sustituirlas completamente por nuevas tecnologías y solo así se lograría abatir la gran emisión debida al aumento de la demanda del desarrollo industrial y residencial.

Tabla 29. Potencial de mitigación de los escenarios de mitigación en el Valle del Mezquital.
Emisiones de gases de efecto invernadero directos (Gg CO₂ eq.)

Medida de Mitigación	2020			2030			2040		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Calentador solar	192.17	6.20	3.41	383.64	9.12	2.35	615.76	12.32	1.43
Estufa Patsari	94.4	5.70	1.11	121.4	7.48	1.45	99.0	6.10	1.18
CC/NTG*	-	-	-	946.72	2.81	10.82	845.92	2.74	10.65

*Esta tecnología se implementa a partir del año 2024.

6. CONCLUSIONES

1. Este trabajo es el primer estudio realizado con enfoque de cambio climático en el Valle del Mezquital en la Categoría Energía; que constituye el fundamento para la toma de decisiones científicas, sociales y de normativas en relación a las emisiones y de las medidas de mitigación.
2. Se logró tener una base de datos confiable y referenciada de la demanda energética del Valle del Mezquital para el año 2005, que incluye la energía eléctrica, el consumo por tipo de combustible, por sector y subsector.
3. Se elaboró el inventario de gases de efecto invernadero en el Valle del Mezquital con información del año 2005, que permitió la identificación de las principales fuentes en la categoría energía. El total de emisiones fue de 13,894.9 Gg de CO₂ que representa el 75% de las emisiones estatales de esta categoría. Esto confirma la vocación energética del estado de Hidalgo, como principal proveedor de energía secundaria de la Ciudad de México.
4. Las mayores emisiones de CO₂ proceden de la industria de transformación de energía (9.605,4 Gg CO₂) que representan el 69% de emisiones en el valle y el 52% en todo el estado y la industria de la manufactura (2648.8 Gg CO₂), alcanzando el (19%).
5. Al comparar los resultados obtenidos con los indicadores reportados para el estado de Hidalgo y el país, se evidencia que la intensidad energética y las emisiones per cápita de CO₂ en el VM son 2.2 veces más altas que las estatales y 5 veces mayores que las del país.
6. Se realizó por primera vez el inventario de carbono negro en el estado de Hidalgo obteniéndose un total de 0.66 Gg CN (2.41 Gg CO₂ eq.). Se seleccionó el Valle del mezquital por ser la zona de mayor importancia energética del centro de México. Para ello se seleccionaron los factores de emisión de CN más adecuados a las tecnologías de México.

7. El grado de incertidumbre logrado en el escenario inercial del Valle del Mezquital presenta mejoras respecto al que presenta el Programa Estatal de Acción del Estado de Hidalgo, debido a que:
 - Se introdujeron crecimientos diferenciados de las industrias, con datos reportados para el propio estado.
 - Se desagregó la información del sector residencial en *urbano y rural*; y éste último se subdividió en *rural con electricidad y rural sin electricidad*.
 - Se formularon supuestos para estimar los consumos energéticos de leña y de gas LP en el sector residencial, los cuales no se reportaron en el inventario estatal.
 - El sector de transformación energética fue reformulado completamente. Por ello, los escenarios inerciales obtenidos son diferentes y de mayor certidumbre.
8. El potencial de mitigación de CN resultó de 1312.25 (Gg CO₂ eq.) a 20 años.
9. En las emisiones de gases distintos al CO₂ (CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVDM, SO₂), destacan las de SO₂ (255.9 Gg). Éstas representan el 80% de las emisiones de SO₂ reportadas para el estado de Hidalgo (318.8 Gg).

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la investigación de los proyectos de remodelación que se van a hacer en la refinería, ya que los escenarios de mitigación planeados hacer en LEAP para esta industria, quedan inconclusos por falta de datos. Se mantiene un gran secreto en torno a esta información; no hay acceso a datos confiables reportados; sólo a noticias aisladas.
- Es el mismo caso para las cementeras del valle. Los datos obtenidos no son concluyentes para modelar los escenarios prospectivos de mitigación en LEAP.
- Investigar el plan de introducción de los combustibles UBA en el sector transporte; si el programa de sustitución será gradual o inmediato, y cómo, cuándo y dónde se llevará a efecto. Con estos datos, más los ajustes técnicos y de costos adecuados para los nuevos combustibles limpios, se recomienda proyectar en LEAP los escenarios de mitigación; y de esta forma poder inferir el impacto ambiental, económico y social que conllevaría para la zona de estudio.
- Investigar en el tema de los “focos ahorradores”, ya que existe incertidumbre si fue acertada la decisión de desaparecer a los focos incandescentes y sustituirlos por bombillas fluorescentes. Hay mucha controversia respecto a si, el esperado ahorro de energía, compensa los costos 1) económicos, 2) sociales, 3) ambientales y de 4) salud a los que se expone la ciudadanía.

8. REFERENCIAS

- Åström S, Tohka A, Bak J, Lindblad M, Arnell J. Potential impact on air pollution from ambitious national CO₂ emission abatement strategies in the Nordic countries – environmental links between the UNFCCC and the UNECE – CLRTAP. *Energy Policy* 2013; 53: 114-124.
- Bachmann J. Black Carbon: A Science/Policy Primer. In: VISION AIR CONSULTING L, editor. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, USA, 2009.
- Ban-Weiss GA, Lunden MM, Kirchstetter TW, Harley RA. Size-resolved particle number and volume emission factors for on-road gasoline and diesel motor vehicles. *Journal of Aerosol Science* 2010; 41: 5-12.
- Beltran-Hernandez IM-R, G.; Solis Rosales, C.; Ramirez, A.; Sastre Conde, I. Elemental composition of the PM10 fraction in the Mezquital Valley, Mexico. The Third International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering. 21-25 September 2008. . 42. International Atomic Energy Agency (IAEA) / The International Nuclear Information System (INIS), Palma de Mallorca. Spain, 2009, pp. 350.
- Bond T, Venkataraman C, Masera O. Global atmospheric impacts of residential fuels. *Energy for Sustainable Development* 2004a; 8: 20-32.
- Bond TC. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research* 2004; 109.
- Bond TC. Can warming particles enter global climate discussions? *Environmental Research Letters* 2007; 2: 045030.
- Bond TC, Doherty SJ, Fahey DW, Forster PM, Berntsen T, DeAngelo BJ, et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2013; 118: 5380-5552.
- Bond TC, Streets DG, Yarber KF, Nelson SM, Woo JH, Klimont Z. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *J. Geophys. Res.* 2004; 109.
- Bond TCaS. Can reducing black carbon emissions counteract global warming? . *Environmental Science & Technology* 2005; Volume 39, : 5921-5926.
- Bose RK. Energy demand and environmental implications in urban transport — Case of Delhi. *Atmospheric Environment* 1996; 30: 403-412.

- Boucher O, Randall D, Artaxo P, Bretherton C, Feingold G, Forster P, et al. Clouds and Aerosols. . In: Stocker TF, al. e, editors. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge and New York, 2013.
- Braatz BV, Doorn M. Managing the national greenhouse gas inventory process. In: Unit TNCS, editor. UNDP/GEF, New York, NY, 2005a.
- Braatz VB, Doorn M. Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. In: United Nations Development Programme UNCSP, NCSP. United Nations Environment Programme, UNEP. Global Environment Facilities, GEF., editor. 461. National Communications Support Programme, New York, USA, 2005b.
- Broszat M, Nacke H, Blasi R, Siebe C, Huebner J, Daniel R, et al. Wastewater Irrigation Increases the Abundance of Potentially Harmful Gammaproteobacteria in Soils in Mezquital Valley, Mexico. Applied and environmental microbiology 2014; 80: 5282-5291.
- Castillo-Hernández P, Caballero-Mata P, Mendoza-Domínguez A. Analysis of physicochemical properties of mexican gasoline and diésel reformulated with ethanol. Ingeniería Investigación y Tecnología 2012; volume XIII (number 3), july-september 2012:293-306.
- CCAC-MCEE-INECC. Supporting National Planning of Short-lived Climate Pollutants in Mexico. Climate and Clean Air Coalition. Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment. National Institute of Ecology and Climate Change as part of the CCAC SNAP Initiative 2013.
- Commission-for-Environmental-Cooperation. Assessment of the Comparability of Greenhouse Gas and Black Carbon Emissions Inventories in North America 2012.
- CONAFOR. Estudio Regional Forestal UMAFOR 1304. Valle del Mezquital, Hidalgo, 2010, pp. 316.
- Cooke WF, Liousse C, Cachier H, Feichter J. Construction of a 1° × 1° fossil fuel emission data set for carbonaceous aerosol and implementation and radiative impact in the ECHAM4 model. Journal of Geophysical Research 1999; 104: 22137.
- Cruz-Núñez X. An approach to a black carbon emission inventory for Mexico by two methods. Science of The Total Environment 2014; 479-480: 181-188.
- Galdos M, Cavalett O, Seabra JEA, Horta Nogueira LA, Bonomi A. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol

- production considering black carbon emissions. *Applied Energy* 2013; 104: 576-582.
- Galindo L. La economía del cambio climático en México: Síntesis. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT., México, 2009.
- Hansen J, Nazarenko L. Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2003; 101: 423-428.
- Highwood EJ, Kinnersley RP. When smoke gets in our eyes: The multiple impacts of atmospheric black carbon on climate, air quality and health. *Environment International* 2006; 32: 560-566.
- Houghton JT. Module 1 Energy. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997.
- Hua J, Yin Y, Peng L, Du L, Geng F, Zhu L. Acute effects of black carbon and PM2.5 on children asthma admissions: A time-series study in a Chinese city. *Science of The Total Environment* 2014; 481: 433-438.
- INAFED-PNUD-INEGI. Producto Interno Bruto Municipal 2005. Consolidado Nacional. In: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal IPdINupeD, PNUD. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI., editor. Secretaría de Gobernación, México, 2005.
- INAFED. Producto Interno Bruto Municipal 2005. Municipios de Hidalgo. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, INAFED. Programa de las Naciones unidas para el Desarrollo, PNUD. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI., Mexico, 2005.
- INE-SEMARNAT. Inventario nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. In: Ecología INd, Naturales SdMAyR, editors. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2002.
- INECC-SEMARNAT. México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. In: 978-607-8246-50-2 I, editor. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2012, pp. 441.
- INECC. México Cuarta Comunicación Nacional. Inventario Nacional de Emisiones de GEI, INEGEI, 2006.

- INEGI-SCNM. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2005-2009 : año base 2003
In: Instituto Nacional de Estadística y Geografía ISdCNdM, SCNM editor. INEGI, México, 2011, pp. 357.
- INEGI. Poblacion y viviendas por municipio en Hidalgo. In: Instituto Nacional de Estadística Gel, INEGI editor, Hidalgo, México, 2005.
- INEGI. Transporte y comunicaciones. In: Instituto Nacional de Estadística Gel, INEGI, editor, Hidalgo, México, 2006a.
- INEGI. Perfil sociodemográfico de Hidalgo. In: Instituto Nacional de Estadística Gel, INEGI, editor. II Censo de Población y Vivienda 2005, 2008.
- IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K, editors. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge Univeristy Press Cambridge, 1996, pp. 572.
- IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: workbook. Module I Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change 1997.
- IPCC. CLIMATECHANGE 2001:THE SCIENTIFIC BASIS. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA . 2001, pp. 94.
- IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (5 Vol. Set). In: Change IPoC, editor. NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES PROGRAMME. Intergovernmental Panel on Climate Change, Kanagawa, Japan, 2006.
- IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol 2. Energy. Energy, Japan, 2006a.
- IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol 4. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- Ippc. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2011.
- IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, et al., editors. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, pp. 1454.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, et al., editors. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014a, pp. 1454.
- Kirchstetter TW, Aguiar J, Tonse S, Fairley D, Novakov T. Black carbon concentrations and diésel vehicle emission factors derived from coefficient of haze measurements in California: 1967–2003. *Atmospheric Environment* 2008; 42: 480-491.
- Kondo Y, Ram K, Takegawa N, Sahu L, Morino Y, Liu X, et al. Reduction of black carbon aerosols in Tokyo: Comparison of real-time observations with emission estimates. *Atmospheric Environment* 2012; 54: 242-249.
- Kumar A, Bhattacharya SC, Pham HL. Greenhouse gas mitigation potential of biomass energy technologies in Vietnam using the long range energy alternative planning system model. *Energy* 2003; 28: 627-654.
- Lee YC, Lam YF, Kuhlmann G, Wenig MO, Chan KL, Hartl A, et al. An integrated approach to identify the biomass burning sources contributing to black carbon episodes in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 2013; 80: 478-487.
- Lei Y, Zhang Q, Nielsen C, He K. An inventory of primary air pollutants and CO₂ emissions from cement production in China, 1990–2020. *Atmospheric Environment* 2011; 45: 147-154.
- López L. MaSVM. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques*. 7(1). Departamento Forestal Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. , Buenavista, Saltillo, Coah. México. 25315., 2001, pp. 37 - 46.
- Martínez-Carrillo MÁ, Solís C, Isaac-Olive K, Andrade E, Beltrán-Hernández RI, Martínez-Reséndiz G, et al. Atmospheric elemental concentration determined by Particle-Induced X-ray Emission at Tlaxcoapan in central Mexico, and its relation to Tula industrial-corridor emissions. *Microchemical Journal* 2010; 94: 48-52.
- Medina-Ramírez S. La importancia de reducción del uso de automóvil en México. Tendencias de motorización, del uso del automóvil y sus impactos. In: Ramírez-Salvador M, editor. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México (ITDP), México, D. F., 2012.

- Medina Ramírez S. La importancia de reducción del uso de automóvil en México. Tendencias de motorización, del uso del automóvil y sus impactos. In: Ramírez-Salvador M, editor. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México (ITDP), México, D. F., 2012.
- Molina M, Zaelke D, Sarma KM, Andersen SO, Ramanathan V, Kaniaru D. Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2009; 106: 20616-20621.
- Møller HS. Nordic Workshop on Action Related to Short-lived Climate Forcers: Nordic Council of Ministers, 2013.
- Myhre G, Shindell D, Bréon FM, Collins W, Fuglestedt J, Huang J, et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 2013.
- Ni M, Huang J, Lu S, Li X, Yan J, Cen K. A review on black carbon emissions, worldwide and in China. *Chemosphere* 2014; 107: 83-93.
- Novakov T, Hansen JE. Black carbon emissions in the United Kingdom during the past four decades: an empirical analysis. *Atmospheric Environment* 2004; 38: 4155-4163.
- Novakov T, Ramanathan V, Hansen JE, Kirchstetter TW, Sato M, Sinton JE, et al. Large historical changes of fossil-fuel black carbon aerosols. *Geophysical Research Letters* 2002.
- Ordóñez DJ, Conde AL, Aviña CF, Cruz NX. Manual de referencia rápida para el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para los diferentes sectores en México. In: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático I, editor. INECC, México, 2010, pp. 51.
- Otazo-Sanchez E, P. PN, J. B-C, T. PM, S. L-P, R. R-Z, et al. Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo: Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo – SEMARNATH, 2013.
- PNUD-FMAM. Manejo del proceso de elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. In: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PFpeMAM, FMAM. , editor. Manual de la unidad de apoyo a las Comunicaciones

- Nacionales Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Secretaría del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, New York, NY, EEUU, 2008.
- SCT-DGAF. Autotransporte Federal de Carga 2005. Secretaría de Comunicaciones y Transporte - Dirección General de Autotransporte Federal, México, D. F., 2005, pp. 18.
- SEDAGROH. Programa Estatal de Agricultura y Desarrollo Rural 2005-2011. In: Hidalgo SddadEd, editor. SEDAGRO, Hidalgo, Mexico, 2008.
- SEDECO. Hidalgo en Cifras. Diciembre 2014. In: Secretaría de Desarrollo Económico S, editor. Gobierno del Estado de Hidalgo, México, 2014, pp. 28.
- SEMARNAT-SENER-SCFI. NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. In: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SSdE, SENER. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SCFI, editor. Gobierno Federal, Diario Oficial de la Federación 2006.
- SENER-CRE. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SECRE-2010, Especificaciones del gas natural. In: Energía SdE-CRd, editor, Diario Oficial de la Federación 2010.
- SENER. Prospectiva del Mercado de Gas LP 2008-2017. Secretaría de energía, 2008a.
- SENER. Prospectiva del Mercado de Gas LP 2008-2017. Secretaría de Energía, SENER. México., 2008b.
- SENER. Balance Nacional de Energía 2010. In: SENER, editor, 2010a.
- SENER. Lista de combustibles que se considerarán para identificar a los usuarios con un patrón de alto consumo, así como sus factores para determinar las equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo. In: Federación DODl, editor. Secretaría de Gobernación, Mexico, 2010b.
- SENER. Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025. Secretaría de Energía. México. In: Energía Sd, editor. Secretaria de Energía, Mexico, 2010c.
- SENER. Balance Nacional de Energía 2010. In: (SENER) SdE, editor, 2011a.
- SENER. Balance Nacional de Energía 2010. In: SENER, editor, 2011b.
- SERFORH. Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal 1305 "Jacala-Tlahuiltepa". UMAFOR 1305 In: Asociación de Silvicultores de la Región Tlahuiltepa-Jacala AC, editor. Servicios Forestales de Hidalgo, Hidalgo, Mexico, 2010.
- Song WW, He KB, Lei Y. Black carbon emissions from on-road vehicles in China, 1990–2030. Atmospheric Environment 2012; 51: 320-328.

- Stern N. Stern Review: La economía del cambio climático. In: Office FC, editor. HM Treasury Stern Review, United Kingdom, 2006.
- Streets DG, Gupta S, Waldhoff ST, Wang MQ, Bond TC, Yiyun B. Black carbon emissions in China. *Atmospheric Environment* 2001; 35: 4281-4296.
- UNFCCC. Compilation of information on nationally appropriate mitigation actions to be implemented by developing country Parties. GE.13-61072. Subsidiary Body for Implementation Thirty-eighth session, Bohn, Germany, 2013, pp. 60.
- UNFCCC. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved 27 November 2014. UN Treaty Database, 2014.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC, 2015.
- USEPA. 2008 National Emissions Inventory, version 3 Technical Support Document U.S. Environmental Protection Agency 2013: 166.
- Wang J, Zhang K. Convergence of carbon dioxide emissions in different sectors in China. *Energy* 2014; 65: 605-611.
- Wang X, Chen R, Meng X, Geng F, Wang C, Kan H. Associations between fine particle, coarse particle, black carbon and hospital visits in a Chinese city. *Science of The Total Environment* 2013; 458-460: 1-6.
- Yedla S, Shrestha RM. Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 2003; 37: 717-729.
- Zambrano García A, Medina Coyotzin C, Rojas Amaro A, López Veneroni D, Chang Martínez L, Sosa Iglesias G. Distribution and sources of bioaccumulative air pollutants at Mezquital Valley, Mexico, as reflected by the atmospheric plant *Tillandsia recurvata* L. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2009; 9: 6479-6494.
- Zamora-Campos Eunise M. V-COG, Pérez-Ahuatzi Araceli, Cano-Flores Rosalinda , Aparicio-Rentería Armando and Fernández Pedraza Enrique. Variación natural de la densidad de la madera en *Pinus montezumae* Lamb. en tres altitudes del parque nacional La Malinche, Tlaxcala, México. *Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica UAEM*. 2007 9(2): 33-37.

ABREVIATURAS

- BAU** Escenario inercial (Business as usual)
- CC** Ciclo combinado
- CCC** Central de ciclo combinado
- CC/NTG** Ciclo combinado/ Nueva tecnología de generación
- CFE** Comisión Federal de Electricidad
- CH₄** Metano
- CMNUCC** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
- CN** Carbono negro
- CO** Monóxido de carbono
- CO₂** Dióxido de carbono
- COA** Cédula de Operación Anual
- CONAFOR** Comisión Nacional Forestal
- COV's** Compuestos orgánicos volátiles
- COVDM** Compuestos orgánicos volátiles diferentes de metano
- CO₂ eq.** Equivalente de dióxido de Carbono
- Gas LP** Gas Licuado del Petróleo Licuado
- GEI** Gases de Efecto Invernadero
- Gg** Gigagramo (10⁹ g). Equivalente a mil toneladas (kt)
- ha** Hectárea
- HCFC** Hidroclorofluorcarbonos
- HFC** Hidrofluorocarbonos
- Hgo.** Hidalgo
- INECC** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
- INEGEI** Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
- INEGI** Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía
- LEAP** software “Long-range Energy Alternatives Planning System” (Sistema de Planeación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo)
- N₂O** Óxido nitroso, óxido de nitrógeno
- NO_x** Óxidos de nitrógeno
- O₃** Ozono
- PEACCH** Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático de Hidalgo

PEMEX Petróleos Mexicanos

PFC Perfluorocarbonos

PIB Producto Interno Bruto

IPCC Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)

PJ Petajoule. 10^{15} Joule

SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes

SEDAGRO Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de Hidalgo

SEMARNATH Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo

SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SENER Secretaría de Energía

SF₆ Hexafluoruro de azufre.

SIE Sistema de Información Energética

SO₂ Dióxido de azufre

TJ Terajoule. 10^{12} Joule

USCUSS Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

UMAFOR Unidad de Manejo Forestal

VM Valle del Mezquital

ZMCM Zona Metropolitana de la Ciudad de México

ANEXOS

SISTEMA CLIMÁTICO GLOBAL

Desde su creación en 1988, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), ha informado al mundo sobre la comprensión científica de este fenómeno. Los informes del IPCC constituyen hasta el momento, las evaluaciones más completas y actualizadas del cambio climático. Asimismo, son la principal referencia del tema para medios académicos, gobiernos e industrias a nivel mundial (IPCC, 2007; IPCC, 2015). El IPCC evalúa las fuentes de energía renovables como opciones viables de mitigación del cambio climático y proporciona información exhaustiva de las tecnologías aplicables, sus costos y beneficios inherentes, así como el potencial de mitigación (IPCC, 2011).

La Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se adoptó el 9 de mayo de 1992 en Nueva York, y más de 150 países y la Comunidad Europea la firmaron en la Cumbre sobre la Tierra de 1992 celebrada en Río de Janeiro. La Convención entró en vigor en marzo de 1994 y contiene compromisos para todas las Partes. Su objetivo es la “estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”.

Después de décadas de advertencias de los científicos de que las emisiones de gas de invernadero estaban calentando al planeta, los gobiernos comenzaron a reunirse en la década de 1980 para combatir el problema. Se presenta a continuación, una cronología de los momentos clave en los esfuerzos diplomáticos para frenar el cambio climático, de cara a la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (COP21), programada para realizarse en París del 30 de noviembre al 11 de diciembre de 2015.

1987: MONTREAL — Los gobiernos adoptan un tratado comprometiéndose a restringir las emisiones de productos químicos que dañan la capa de ozono. Si bien no aborda en concreto el tema del cambio climático, el Protocolo de Montreal se convierte en un modelo de cómo frenar las emisiones provocadas por el hombre a través de acuerdos internacionales.

1988: NUEVA YORK — La Asamblea General de la ONU aprueba la creación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Lo establecieron el mismo año la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA), para evaluar los conocimientos existentes sobre el cambio climático.

1990: LONDRES — El IPCC publica su primera evaluación científica del cambio climático. Afirma que los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera están aumentando debido a la actividad humana, lo que resulta en el calentamiento de la superficie terrestre.

1992: RIO DE JANEIRO — Los líderes mundiales reunidos para la primera Cumbre de la Tierra, firman la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y aprueban el primer tratado internacional destinado a limitar las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, no establece objetivos de emisiones vinculantes.

1997: KIOTO, JAPÓN — Se adopta el Protocolo de Kioto, el cual establece objetivos de emisiones obligatorias para los países ricos. Estados Unidos no ratifica el tratado porque dice que, además de perjudicar su economía, no incluye a los grandes países en desarrollo como China e India.

2004: MOSCÚ — El presidente ruso Vladimir Putin ratifica el Protocolo de Kioto. Esto significa que los países que generan más del 55% de las emisiones globales apoyan el tratado, una condición para que entre en vigor.

2007: OSLO — El ex vicepresidente estadounidense y activista climático Al Gore y el IPCC, obtienen el Premio Nobel de la Paz por sus esfuerzos para crear conciencia sobre el calentamiento global.

2009: COPENHAGUE — Fracasa el primer intento por forjar un acuerdo climático que reemplace al de Kioto, —el cual expira en 2012— debido a las diferencias entre países ricos y pobres sobre quién debe hacer qué. Las amargas negociaciones terminan con un acuerdo voluntario, que invita a los países a presentar propuestas no vinculantes sobre metas de emisiones para el año 2020.

2011: DURBAN, Sudáfrica — Negociaciones de la ONU producen un avance importante, porque los países se ponen de acuerdo en adoptar un pacto universal sobre cambio climático en 2015, que entre en vigor cinco años después.

2013: ESTOCOLMO — El IPCC expresa que es "extremadamente probable" que la influencia humana sea la razón dominante de las cálidas temperaturas registradas desde mediados del siglo XX.

2015: PARIS — Más de 190 gobiernos se reúnen en la capital francesa para terminar lo que se prevé sea un histórico acuerdo para limitar las emisiones de gases de invernadero después de 2020.

URL de origen: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/mundo/2015/11/30/cronologia-acciones-clavecontra-el-cambio-climatico>

Gases de efecto invernadero (GEI)

La temperatura de nuestro planeta posee un sistema de control natural, en el que aproximadamente un tercio de la radiación solar que llega a la tierra se refleja de vuelta al espacio. Del resto, parte es absorbida por la atmósfera, pero la mayor parte es absorbida por la tierra y los océanos. La superficie de la Tierra se calienta y, como resultado emite radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero son gases atmosféricos que atrapan la radiación infrarroja, calentando así la atmósfera. Los gases de efecto invernadero de origen natural incluyen vapor de agua, dióxido de carbono, el ozono, el metano y el óxido nitroso, y juntos crean un efecto invernadero natural. Sin embargo, las actividades antropogénicas están causando que aumenten en forma crítica los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera y de la misma forma, está causando afectación en el sistema climático (IPCC, 2001).

La Figura 1 muestra las fuentes de emisión, el promedio de vida atmosférica y el potencial de calentamiento de los principales GEI de largo plazo que reconoce la CMNUCC y el Protocolo de Kioto; éstos son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Figura 1. Gases de efecto invernadero controlados por la CMNUCC. Datos tomados del Segundo Informe de Evaluación del IPCC.

The main greenhouse gases						
Greenhouse gases	Chemical formula	Pre-industrial concentration	Concentration in 1994	Atmospheric lifetime (years)**	Anthropogenic sources	Global warming potential (GWP)*
Carbon-dioxide	CO ₂	278 000 ppbv	358 000 ppbv	Variable	Fossil fuel combustion Land use conversion Cement production	1
Methane	CH ₄	700 ppbv	1721 ppbv	12.2 +/- 3	Fossil fuels Rice paddies Waste dumps Livestock	21 **
Nitrous oxide	N ₂ O	275 ppbv	311 ppbv	120	Fertilizer industrial processes combustion	310
CFC-12	CCl ₂ F ₂	0	0,503 ppbv	102	Liquid coolants. Foams	6200-7100 ****
HCFC-22	CHClF ₂	0	0,105 ppbv	12,1	Liquid coolants	1300-1400 ****
Perfluoromethane	CF ₄	0	0,070 ppbv	50 000	Production of aluminium	6 500
Sulphur hexa-fluoride	SF ₆	0	0,032 ppbv	3 200	Dielectric fluid	23 900

Note : pptv= 1 part per trillion by volume; ppbv= 1 part per billion by volume, ppmv= 1 part per million by volume

* GWP for 100 year time horizon. ** Includes indirect effects of tropospheric ozone production and stratospheric water vapour production. *** On page 15 of the IPCC SAR. No single lifetime for CO₂ can be defined because of the different rates of uptake by different sink processes.**** Net global warming potential (i.e., including the indirect effect due to ozone depletion).

Source: IPCC radiative forcing report ; Climate change 1995. The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

El potencial de calentamiento representa el efecto combinado de los diferentes períodos de permanencia de esos gases en la atmósfera, y su eficacia relativa de absorción, de la radiación infrarroja saliente.

Gases de efecto invernadero indirectos

Son reconocidos como GEI “indirectos”, aquellos gases que contribuyen indirectamente al forzamiento radiativo, por medio de su impacto en la química atmosférica, ya que pueden modificar la formación y/o vida atmosférica de los GEI directos o contribuir a la formación de aerosoles. Los más importantes de los GEI indirectos son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂).

Estos gases contaminantes son precursores del ozono en la atmósfera baja (el ozono troposférico, O₃), formado mediante reacciones fotoquímicas complejas que tienen lugar

en la inicial 10 a 15 km por encima del suelo y modifica el tiempo de vida del CH₄. El ozono tiene un impacto de calentamiento en la parte superior de la troposfera (Møller, 2013), mientras que cerca del nivel del suelo es tóxico para los seres humanos y plantas, incluyendo cultivos, lo cual amenaza la seguridad alimentaria en el desarrollo y los países desarrollados. Además puede reducir la eficacia de los sumideros de carbono terrestre (Molina et al., 2009).

Las emisiones de SO₂ contribuyen a la formación de aerosoles de sulfatos y además, el SO₂ es un compuesto que acompaña en cantidades significativas algunas fuentes de emisiones de carbono negro (Bond et al., 2013), y lo mismo sucede con el CO (INECC-SEMARNAT, 2012). Además de contribuir indirectamente al forzamiento radiativo, las emisiones de CO, NO_x, COVDM y SO₂ son las causas principales del smog, de la lluvia ácida y de la niebla regional, por lo que la recopilación de datos sobre estos gases beneficiará a los programas de monitoreo de la calidad del aire (PNUD-FMAM, 2008).

Agentes climáticos de corto plazo, (NTCFs)

Las fuentes que emiten CN también emiten las otras especies de vida corta, los NTCFs, por sus siglas en inglés: Near-Term Climate Forcers, son compuestos cuyo impacto sobre el clima se produce principalmente dentro de la primera década después de su emisión. También se conocen como *contaminantes climáticos de vida corta o forzadores climáticos de vida corta* (SLCP o SLCF, por sus siglas en inglés: Short-Lived Climate Pollutant/Forcers). Los NTCFs son compuestos que pueden ya sea enfriar o calentar el clima (Bond et al., 2013). Este conjunto de compuestos incluye al metano (CH₄), que es también un GEI, así como al ozono (O₃), el carbono negro y algunos hidrofluorocarbonos (HFC), algunos de los cuales están regulados por el Protocolo de Kioto. El ozono tiene un impacto de calentamiento en la parte superior de la troposfera (Møller 2013), mientras que cerca del nivel del suelo es tóxico para los seres humanos y plantas, incluyendo cultivos, lo cual amenaza la seguridad alimentaria en el desarrollo y los países desarrollados. Además puede reducir la eficacia de los sumideros de carbono terrestre (Molina, Zaelke et al. 2009).

Debido a su corta duración (de unos días a unas pocas décadas), los NTCFs son de interés, dado que los esfuerzos para su control tienen efectos rápidos sobre el calentamiento global, por lo que su influencia en el clima es significativa, y además

presentan impactos locales adversos, como en la salud humana ([IPCC, 2014](#); [Myhre et al., 2013](#)). De los NTCFs, el carbono negro se ha convertido en un tema emergente, del cual se ha investigado mucho en las últimas tres décadas.

Carbono Negro (CN)

El CN es un subproducto de la combustión incompleta de los combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa; absorbe fuertemente la luz solar por unidad de masa como ninguna otra sustancia presente en la atmósfera; reduce el albedo, lo que acelera el derretimiento del hielo y la nieve al depositarse sobre esas superficies; e influye indirectamente en los patrones de precipitación y formación de las nubes (Bond et al., 2004a); (Bond et al., 2013).

Los descubrimientos iniciales fueron desarrollados por Tihomir Novakov, (1929 - 2015), quien acuñó el término "carbono negro" y estudió estas partículas a partir de la década de 1970 en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (Novakov and Hansen, 2004). Novakov fue nombrado como "el padrino de los estudios de carbono negro" por James Edward Hansen, quien durante la década de los ochenta investigó la composición y las propiedades ópticas del CN (Hansen and Nazarenko, 2003).

El CN forma parte de una mezcla de aerosoles, cuyas emisiones impactan a escala global el balance energético del planeta, en especial si la ubicación de estas nanopartículas está cercana a los polos u otra región cubierta de hielo o nieve. Asimismo, la influencia del CN a nivel local también es importante. Dada la breve estadía del CN en la atmósfera (hasta una semana), la preocupación se centra en la calidad del aire local contaminado con CN, que produce efectos adversos sobre la salud; se ha descubierto que las emisiones de CN por la quema de diésel, contienen sustancias carcinógenas. Asimismo, los gases precursores del ozono troposférico impactan de manera local, afectando principalmente la productividad de los ecosistemas agrícolas y naturales. Esto puede conducir a un déficit alimentario que amenace el equilibrio social y el desarrollo económico de la región.

Las mayores fuentes mundiales de CN son quema a cielo abierto de los bosques y sabanas. Las emisiones dominantes de CN de otros tipos de combustión dependen de la ubicación. Los combustibles sólidos residenciales (carbón y biomasa) contribuyen del 60 al 80% de las emisiones de Asia y África, mientras que los motores diésel en carretera y

fuera de ella contribuyen con alrededor del 70% de las emisiones en Europa, América del Norte y América Latina (Bond et al., 2013).

Como se mencionó anteriormente, el CN se ha relacionado con varios efectos sobre la salud. Existe una correlación significativa entre las partículas ultra-finas de CN emitidas y los impactos en la salud humana (cáncer, cataratas, enfermedades respiratorias y cardiovasculares) (Galdos et al., 2013; Hua et al., 2014; Wang et al., 2013). Los aerosoles de CN entran en el cuerpo a través del sistema respiratorio y llegan a los órganos internos (pulmón e hígado) a través de la sangre, causando problemas graves, y también afectan al corazón y al cerebro (Highwood and Kinnersley, 2006). Asimismo, los aerosoles de CN tienen un gran potencial para absorber compuestos orgánicos carcinogénicos, tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (Ni et al., 2014).

Recientemente, se han publicado excelentes críticas acerca del CN, discutiendo diversos temas y reflexiones profundas, tales como inventarios, la historia y series de tiempo, los factores de emisión, la dependencia en la tecnología, el forzamiento radiativo, riesgos para la salud, las nubes y las interacciones de aerosoles, y los efectos de fusión del hielo y la nieve (Bachmann, 2009; Bond et al., 2013; Commission-for-Environmental-Cooperation, 2012; IPCC, 2014; Ni et al., 2014; Novakov et al., 2002; Wang and Zhang, 2014). A pesar de estos estudios, persiste una falta de datos sobre los factores de emisión específicos a cada tecnología, así como una metodología estándar de medición en todo el mundo reconocida por el IPCC. A la fecha, las investigaciones continúan debido a la gran incertidumbre que existe en las determinaciones de FE_{CN} . En (CCAC-MCEE-INECC, 2013) se menciona que la variabilidad de emisiones de CN debido a las incertidumbres va del 50% al 200% de los valores estimados.

Los FE_{CN} dependen en gran medida de la práctica de combustión, lo que resulta en mayores emisiones cuando se tiene una mala combustión; esto le confiere una gran incertidumbre a las emisiones (Bond et al., 2004a). Dichas prácticas difieren por tipo de sector y en cada caso influyen diversos aspectos, como el tipo de combustible y sus combinaciones; el dispositivo de combustión; el tipo de tecnología utilizada; los controles de emisiones; y su prevalencia en el ámbito regional. En la elección de cada factor de emisión existen marcadas diferencias entre regiones, definidas en función de la elección tecnológica; a menudo se supone que las emisiones de un determinado tipo de

combustible en los países en desarrollo pueden ser más altas que las de los países industrializados. Sin embargo, los factores de emisión pueden cambiar con el tiempo, a medida que sean introducidas tecnologías con mayores eficiencias de combustión que vayan desplazando las tecnologías que presentan altas emisiones. Bond *et al*, (2004) explica que cada valor de FE es referido a una combinación de combustible / tecnología y sobre la base de esta información, existe la posibilidad de ingresar los factores de emisión específicos de la región.

GLOSARIO

Asfalto – Fracción pesada del petróleo crudo después de someterse a destilación al alto vacío y mezclarse con otros residuos, diluentes y polímeros para ajustarse a las especificaciones, dependiendo del tipo de asfalto. Es de color negro o café oscuro. Su consistencia puede variar de líquido a sólido

Benchmarking - También llamado comparación referencial, es una de las prácticas de negocios más efectivas y populares y no se limita a ningún área en especial ni a un cierto tamaño de empresa. Esta herramienta consiste en hacer una comparación entre tu negocio y la competencia (tanto directa como indirecta), así como con comercios líderes en otras industrias u otros mercados con la intención de descubrir y analizar cuáles son sus estrategias ganadoras y, de ser posible, aplicarlas en tu propia empresa. (<http://www.soyentrepreneur.com/22889-por-que-hacer-benchmarking.html>).

Nota: Aunque el término “benchmarking” comúnmente se aplica en temas de empresas y negocios, éste fue aceptado en la terminología de la revista *Science of the Total Environment*, donde se publicó un artículo derivado de este trabajo.

Biocombustible - Combustible producido a partir de material seco orgánico o aceites combustibles producidos por plantas. Entre los ejemplos de biocombustibles se encuentran el alcohol (a partir de azúcar fermentado), el licor negro proveniente del proceso de fabricación de papel, la madera y el aceite de soja.

Biomasa - El término biomasa en su sentido más amplio incluye toda la materia viva existente en un instante de tiempo en la Tierra. La biomasa energética también se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Cualquier tipo de biomasa proviene en última instancia de la fotosíntesis vegetal.

Bosques - comunidad dominada por árboles o plantas leñosas con un tronco bien definido, con alturas mínimas de 2-4 m, con una superficie mínima de 1ha y con una cobertura arbórea del 30 % (Ver Cuadro 1 dentro del reporte). Geográficamente se diferenciaron en bosques tropicales y bosques templados.

Cal - Hidróxido de calcio. En forma hidratada se le llama cal apagada.

Caliza - Roca sedimentaria. Mineral estable, compuesto mayormente de carbonato de calcio. Contiene gran cantidad de calcita.

Cambio Climático - Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

Cambio de uso de suelo en terreno forestal - La remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

Capacidad instalada - La capacidad de producción especificada o planeada por el fabricante de una unidad de proceso o la máxima cantidad de un producto que puede elaborarse operando la planta a su máxima capacidad.

Carbón - Elemento sólido que existe en varias formas en la naturaleza, incluyendo diamantes, grafito, coque y carbón vegetal. La combinación de carbón con hidrógeno se conoce como hidrocarburo y pueden ser de grandes o pequeñas moléculas.

Categoría de emisión – Conjunto de sectores o actividades económicas (conjunto de fuentes de emisión), de una misma naturaleza, donde se libera algún gas de efecto invernadero hacia la atmósfera. Según lo clasifica el PICC, las categorías de emisión son: 1 Energía; 2 Procesos Industriales; 3 Solventes; 4 Agricultura/Ganadería; 5 Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura; y 6 Desechos.

Cédula de Operación Anual - Instrumento de reporte y de recopilación de información de emisiones y transferencias de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, mediante el cual las industrias de jurisdicción federal y/o estatal, reportan anualmente a la autoridad competente, la información sobre sus procesos, para control y actualización de la base de datos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

Clima – Descripción estadística del estado del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las magnitudes pertinentes (temperatura, precipitación, humedad, velocidad y dirección del viento, entre otros) durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años. La Organización Meteorológica Mundial establece el período normal de 30 años.

Clorofluorocarbonos – Gases de efecto invernadero incluidos en el Protocolo de Montreal de 1987 y utilizados para refrigeración, aire acondicionado, empaquetado, aislamiento, disolventes o propelentes para aerosoles.

Combustible - Se le denomina así a cualquier sustancia usada para producir energía calorífica a través de una reacción química o nuclear. La energía se produce por la conversión de la masa del combustible a calor.

Combustibles formulados - Mezcla controlada de residuos líquidos y sólidos, incluyendo residuos peligrosos, con poder calórico aceptable para su uso. Se excluyen plaguicidas, dioxinas y benzofuranos policlorados, desechos radiactivos, gases comprimidos, residuos infecciosos y cianuros. Debe cumplir la norma NOM-040-ECOL-2002.

Combustibles fósiles líquidos o gaseosos - Combustibles provenientes de depósitos de carbono fósil, incluidos el petróleo, el gas natural y el carbón. De ellos se obtienen gasolinas, diésel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, Propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

Combustión: Reacción química entre los combustibles y un comburente, generalmente oxígeno, que es acompañada por calor y luz en forma de flama.

Combustóleo - Combustible pesado obtenido de las fracciones menos volátiles del petróleo también llamado fuelóleo. Residual fuel oil en inglés.

CO₂ equivalente - Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de reflexión IR que otro gas con efecto invernadero.

Cogeneración - Empleo del calor residual resultante de la generación eléctrica (por ejemplo, los gases de escape de turbinas de gas), ya sea con fines industriales o calefacción local.

Consumo energético - Consumo de producto tales como gasolinas, gas natural, diesel, gas licuado, electricidad, combustóleo, querosenos, etc. que tienen como fin generar calor o energía, para uso en transporte, industrial o doméstico.

Coque del petróleo - (Coke) - Masa sólida porosa de color gris hasta negro. El coque consta de hidrocarburos macromoleculares con alto grado de aromaticidad. Se obtiene por coquización de alquitranes y residuos de desintegración (cracking) y de pirólisis. Se usa como combustible sólido para calderas y se maneja a granel.

Crudo ligero - Petróleo crudo con densidad superior a 27° e inferior a 38° API.

Crudo pesado - Petróleo crudo con densidad igual o inferior a 22° API.

Datos de actividad - Valor numérico o magnitud de una actividad socioeconómica (producción, consumo, cultivo, número de habitantes, etc.) a la cual está asociada la emisión de algún gas con efecto invernadero.

Densidad (o gravedad específica) - Magnitud que representa a la masa de una sustancia entre el volumen que esta ocupa, a condiciones especificadas de presión y temperatura. En este informe la unidad utilizada es t/m³.

Diésel - Gasóleo. Combustible obtenido de la fracción menos volátil que la gasolina. Gas oil en inglés.

Dióxido de carbono - Gas que se produce de forma natural, y también como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa, cambios en el uso de las tierras y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta. Es el gas de referencia

frente al que se miden otros GEI y, por lo tanto, tiene un Potencial de calentamiento mundial de 1.

Emisiones - Liberación a la atmósfera de GEI y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, incluyendo en su caso compuestos de efecto invernadero, en una zona y un periodo de tiempo específicos.

Efecto invernadero – Fenómeno producido por ciertos gases presentes en la atmósfera que retienen la energía emitida por la Tierra, calentada por la radiación solar. El aumento de la concentración de estos gases produce un calentamiento mayor, con efectos sobre el clima global del planeta.

Energía alternativa - Energía derivada de combustibles que no tienen un origen fósil.

Energía renovable - Fuentes de energía que son sostenibles, dentro un marco temporal breve si compara con los ciclos naturales de la Tierra, e incluyen tecnologías no basadas en el carbono, como la solar, la hidrológica y la eólica, además de las tecnologías neutras en carbono, como la biomasa.

Energía secundaria - Se le denomina a los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los sectores de consumo y otros centros de transformación.

Eficiencia energética - En centros de transformación, se define como la relación entre producción e insumos energéticos,

Eficiencia de un proceso – En LEAP: En un proceso de transformación de energía, se refiere al contenido de energía de las fuentes de salida (producción), dividida por el contenido de energía de los combustibles de materias primas (insumos).

Factor de emisión – Parámetro calculado a partir de datos experimentales, promedio de suficientes fuentes de emisión de la misma tecnología y confiable estadísticamente. Es el valor por el que se multiplica un dato de actividad para estimar emisiones. Se expresa en cantidad de emisiones por unidad de masa de la actividad de una fuente generadora de GEI.

Fermentación Entérica – Procesos normales que existen en el sistema digestivo de los animales. Los microorganismos presentes en estómagos e intestinos del aparato digestivo fermentan anaeróticamente el alimento consumido por el animal. Como hay ausencia de oxígeno, produce metano como un subproducto, que es excretado o eructado por el animal. Entre las especies ganaderas, bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, camélidos) los ruminantes son los principales emisores de metano.

Forzamiento radiativo – Cambio en la irradiación neta vertical (expresada en W/m^2) en la tropopausa debido a un cambio interno o un cambio en el forzamiento externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio en la concentración de CO_2 en la potencia del Sol).

Fuente – Cualquier proceso, actividad o mecanismo que emite un gas de efecto invernadero, un aerosol, un precursor de gases o aerosoles en la atmósfera.

Gas de efecto invernadero – Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación infrarroja.

Gas licuado del petróleo (GLP) (*Liquefied petroleum gas, LPG*) - Es la fracción más ligera obtenida en la refinación del petróleo. Es un gas en condiciones normales que consiste en una mezcla de propano y butano, que se licúa y almacena mediante presión. Utilizado para uso doméstico y para carburación. En el proceso también se obtiene el gas licuado de refinación: (Liquefied refinery gas, LRG) que difiere el gas LPG por la presencia de propileno y butileno.

Gas natural - El gas natural puede encontrarse asociado con el petróleo crudo o encontrarse independientemente en pozos de gas no asociado o gas seco. El metano es su principal constituyente con pequeñas cantidades de etano y propano y cantidades variables de nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico. Es utilizado para uso doméstico en industrias y generación de electricidad.

Gasolina automotriz - Mezcla de los productos más ligeros obtenidos por la destilación del petróleo crudo (desde $35-49^\circ C$ hasta $221-225^\circ C$), los que son sometidos a diferentes procesos para la operación apropiada en los motores de combustión interna de automóviles. Hay tres tipos de gasolinas automotrices: Pemex Magna, Pemex Magna Reformulada (oxigenada) y Pemex Premium.

Gg – Unidad de medida de masa equivalente a 10^9 gramos. Un giga gramo equivale a 1,000 toneladas y es la unidad empleada para las emisiones de GEI.

Gravedad específica (*Specific gravity, Sg*) - Es el cociente del peso de un volumen de material dado entre el peso del mismo volumen de agua medida a la misma temperatura.

Hexafluoruro de azufre (SF_6) - Uno de los seis GEI que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kioto. Se utiliza en la industria pesada para el aislamiento de equipos de alto voltaje y en la fabricación de sistemas de enfriamiento de cables. Su Potencial de calentamiento mundial es 23,900.

Hidrocarburos - Grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y los constituyentes principales del petróleo.

Hidrofluorocarbonos - Unos de los seis GEI que se intentan eliminar en el marco del Protocolo de Kioto. Se producen de manera comercial como sustitutos de los clorofluorocarbonos. Los HFC se utilizan sobre todo en refrigeración y fabricación de semiconductores. Su Potencial de calentamiento mundial se encuentra entre 1.300 y 11.700.

Intensidad Energética - (KJ/\$ producido) Cantidad de energía necesaria para producir un USD de PIB. (SENER 2010).

Intensidad final de energía – En LEAP: Consumo final anual de energía por unidad de nivel de actividad.

LEAP – Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Plazo y por sus siglas en inglés: Long range Energy Alternatives Planning system), es un software para modelar sistemas energéticos, ambientales y económicos a mediano y largo plazo.

Nivel de actividad – En LEAP: Una medida de la actividad social o económica para cual se consume energía.

NTCFs - Por sus siglas en inglés: Near-Term Climate Forcers, son compuestos cuyo impacto sobre el clima se produce principalmente dentro de la primera década después de su emisión. También se conocen como *contaminantes climáticos de vida corta o forzadores climáticos de vida corta* (SLCP o SLCF, por sus siglas en inglés: Short-Lived Climate Pollutant/Forcers).

Metano (CH₄) - Gas de efecto invernadero, producido por la descomposición anaerobia (sin oxígeno) de residuos en vertederos, digestión animal, descomposición de residuos animales, producción y distribución de gas natural y petróleo, producción de carbón, y combustión incompleta de combustibles fósiles. El metano es uno de los seis GEI que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kioto. Es un hidrocarburo gaseoso altamente inflamable y el principal constituyente del gas natural. Su potencial de calentamiento es 21.

Mitigación - Aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero.

Norma - Conjunto de reglas o códigos que establece instrucciones o define el rendimiento de un producto (por ejemplo, niveles, dimensiones, características, métodos de prueba y reglas para su uso) y/o tecnologías.

Óxido nitroso (N₂O) - Potente gas de efecto invernadero emitido con el uso de fertilizantes en suelos, la combustión de combustibles fósiles, la producción de ácido

nítrico, y la combustión de biomasa. Uno de los seis GEI que se intentan reducir con el Protocolo de Kioto. Su potencial de calentamiento es 310.

Ozono (O₃) - Es un componente gaseoso natural de la estratosfera y se forma por la interacción entre la radiación solar ultravioleta y el oxígeno molecular. El ozono estratosférico forma la beneficiosa “capa de ozono”, que tiene un papel decisivo en la absorción de radiaciones y su destrucción por PFC puede producir un aumento de radiación ultravioleta B a nivel del suelo, altamente peligrosa para los organismos vivos. También se forma en la troposfera por reacciones fotoquímicas de gases (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles) que resultan de actividades humanas y es llamado ozono ambiental, contaminante peligroso para los organismos vivos. El ozono troposférico actúa como un gas de efecto invernadero.

Países/Partes del Anexo I - Grupo de países incluidos en el Anexo I (tal y como figuran en la enmienda de 1998) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, incluidos todos los países desarrollados de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y los países con economías en transición. En virtud de los Artículos 4.2 a) y 4.2b) de la Convención, los países del Anexo I se comprometen de manera específica a conseguir de forma individual o conjunta en el año 2000 los niveles de emisiones de GEI que tenían en 1990.

Perfluorocarbonos - Unos de los seis GEI que se intentan eliminar en el marco el Protocolo de Kioto. Son subproductos de la fundición del aluminio y del enriquecimiento del uranio. También sustituyen a los clorofluorocarbonos en la fabricación de semiconductores. El Potencial de calentamiento mundial de los PFC es 6.500–9.200 veces superior al del dióxido de carbono.

Petróleo - Mezcla compuesta predominantemente de hidrocarburos que se presenta en la naturaleza. Es producto de una descomposición de los organismos vegetales y animales que existieron en periodos de tiempo geológico.

Poder calorífico - Cantidad de calor producida por la combustión completa de una substancia combustible. Esta puede ser medida seca o saturada con vapor de agua; “neta” o “bruta”. El término bruta significa que el vapor de agua producido durante la combustión ha sido condensado a líquido, liberando así su calor latente. “Neta” significa que el agua se mantiene como vapor.

Potencial de calentamiento global – Índice relativo empleado para comparar el impacto que tiene en el clima la emisión de un kilogramo de un gas de efecto invernadero comparado con la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono. Los valores del índice

consideran los efectos radiativos de cada gas así como sus diferentes tiempos de permanencia en la atmósfera.

Protocolo de Kioto - Se adoptó en el tercer periodo de sesiones de la Conferencia de las Partes de la CMCC en 1997 en Kioto, Japón. Contiene compromisos legales vinculantes, además de los incluidos en la CMCC. Los países del Anexo B del Protocolo acordaron la reducción de sus emisiones antropogénicas de GEI a al menos un 5 por ciento por debajo de los niveles en 1990 durante el período de compromiso de 2008 al 2012.

Queroseno (*Kerosene*) - Combustible líquido constituido por la fracción del petróleo crudo que se destila entre los 150 y 300°C. Se usa como combustible para la cocción de alimentos, el alumbrado, en motores, en equipos de refrigeración y como solvente para betunes e insecticidas de uso doméstico.

Refinería - Centro de trabajo donde el petróleo crudo se transforma en sus derivados. Esta transformación se logra mediante los procesos de: destilación atmosférica, destilación al vacío, hidrodesulfuración, desintegración térmica, desintegración catalítica, alquilación y reformación catalítica entre otros.

Residuos Peligrosos – Residuos generados por actividades industriales y de servicios con altos riesgos de salud o que provocan la contaminación irreversible del ambiente, que por ello requieren un confinamiento controlado o tratamientos específicos previos a su disposición como son la incineración en altas temperaturas.

Silvicultura - La teoría y práctica de controlar el establecimiento, composición, constitución, crecimiento y desarrollo de los ecosistemas forestales para la continua producción de bienes y servicios.

Software del PICC – Programa de cálculo en Excel proporcionado por el PICC para sistematizar y facilitar la elaboración de los inventarios de GEI.

Solvente - Sustancia usualmente líquida que es capaz de disolver a otra ya sea en estado líquido, gaseoso o sólido para formar una mezcla homogénea.

Subproducto - Producto que se obtiene en forma secundaria durante el proceso de manufactura de otro producto principal de la reacción.

Uso de suelo - Se aplica a los diferentes tipos de cobertura que el ser humano crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (Vink 1975). Es una descripción de la función o el propósito para el cual la tierra será usada. (LUCC 2000).

Nota: Basado en el IPCC del año 2001. Glosario de Términos. Tercer Informe de Evaluación. Anexo B. página 173.

SENER (2010). Balance Nacional de Energía 2010. S. d. E. (SENER).