

Rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) del sector Industria en México

Resumen Ejecutivo



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella (informes, mapas, bases de datos) pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por [José Alberto Cruzado Martínez](#).
Contrato IC-2016-105

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2017. *Rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) del sector industria en México*. Resumen Ejecutivo. Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", José Alberto Cruzado Martínez, pp. 47, México.

Contenido

Introducción	5
1. Primera Parte: industrias del cemento, acero, cal y azúcar.	6
1.1 Industria del cemento	6
1.2 Industria del acero	6
1.3 Industria de la cal.....	7
1.4 Industria del azúcar.....	7
1.5 Análisis de roadmaps y definición de medidas para los distintos sectores.....	8
1.6 Medidas de mitigación del sector cemento	9
1.6.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector cemento	11
1.7 Medidas de mitigación del sector acero.....	12
1.7.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector acero	14
1.8 Medidas de mitigación del sector cal	14
1.8.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector cal.....	16
1.9 Medidas de mitigación del sector ingenios azucareros	17
1.9.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector ingenios azucareros	20
1.10 Panorama general y medidas de mayor ambición.	21
1.11 Costos a valor presente de las medidas de mayor mitigación.	23
1.12 Aportación a las contribuciones nacionales determinadas (NDC).....	25
2 Segunda Parte: industria de la minería y gases F	26
2.1 Industria de la minería	26
2.2 Gases-F.....	26
2.3 Análisis de roadmaps y definición de medidas para los sectores.....	27
2.4 Medidas de mitigación del sector minería.....	28
2.4.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector minería.....	30
2.5 Medidas de mitigación del sector Gases F	31
2.5.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector Gases-F.....	32
2.6 Panorama general y consideraciones sobre las medidas de mayor ambición	33
2.7 Costos a valor presente de las medidas de mayor mitigación.....	34
2.8 Aportación a las contribuciones nacionales determinadas (NDC).....	35
Glosario	36

Lista de Figuras

Figura 1 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cemento	10
Figura 2 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cemento	11
Figura 3 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Acero	13
Figura 4 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Acero	13
Figura 5 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cal	15
Figura 6 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cal.....	16
Figura 7 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (GEI)	18
Figura 8 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (CN)	19
Figura 9 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (GEI).....	19
Figura 10 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (CN).....	20
Figura 11. Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Minería	29
Figura 12. Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Minería	29
Figura 13. Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Gases F.....	31
Figura 14. Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Gases F.....	32

Palabras Clave

Acero, Aire Acondicionado, Business as Usual, Cal, Carbón, Carbono Negro, Cemento, Cogeneración, Costo marginal de abatimiento, Eficiencia energética, Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, HFC, Industria, Ingenios azucareros, Inventario de emisiones, Línea Base, MinA, Mitigación, Metano, MRV, Refrigeración, SAO, Valor Presente Neto, Contribuciones Nacionalmente Determinadas

Introducción

El presente es el reporte final de la consultoría orientada a elaborar elementos técnicos para la instrumentación de las acciones de mitigación de las Contribuciones Determinadas Nacionalmente (NDC) en el sector Industrial como parte de la 6ta Comunicación Nacional de México. Los subsectores que se analizaron fueron, en un primer momento: la industria cementera, la industria de la cal, la industria del acero y la industria azucarera.

Dichos sectores fueron seleccionados por ser los de mayor intensidad de carbono basado en el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero año base 2013 (INEGYCEI), elaborado por el INECC, en el cual se presenta el cálculo de las contribuciones nacionales determinadas. Las emisiones de estos sectores industriales representaban el 53% de las 115 MtCO_{2eq} de GEI generadas por la industria:

No	Sector	Emisión en Mt CO _{2eq}
1	Cemento	30 MtCO _{2eq}
2	Acero	26.2 MtCO _{2eq}
3	Cal	4.2 MtCO _{2eq}
	TOTAL	60.4 MtCO _{2eq}

Por otra parte, el sector azucarero resultó ser el mayor emisor de carbono Negro (BC por sus siglas en inglés) con una emisión de aproximadamente 35,000 toneladas físicas, representando el 98% de las emisiones totales del sector.

Durante la revisión a detalle del inventario se identificaron dos subsectores que por su participación relativa en las emisiones en el sector industrial y por su potencial de mitigación era relevante analizar. Dichos subsectores son el de la producción y uso de refrigerantes basados en fluorocarbonos (HFC, PFC, SF) y la minería. El análisis de estos dos subsectores se incluye en la segunda parte de este estudio.

1. Primera Parte: industrias del cemento, acero, cal y azúcar.

1.1 Industria del cemento

El sector cementero ha mostrado un pequeño crecimiento durante los últimos 10 años, aun con la inestabilidad económica y el escaso dinamismo de la economía mexicana. Entre los años 2000 y 2015 la producción pasó de 33.2 a 44.4 millones de toneladas anuales. (INEGI.)

Asimismo, el sector cuenta con 31 plantas productivas dentro del territorio nacional, las cuales están integradas dentro de la Cámara Nacional de la Industria del Cemento (CANACEM) y pertenecen a seis diferentes corporativos: Cementos Mexicanos (CEMEX), Cementos y Concretos Nacionales (CYCNA, de Cooperativa La Cruz Azul); Grupo Cementos de Chihuahua (GCC); Holcim; Lafarge y Cementos Moctezuma.

México es uno de los 15 productores más importantes de cemento en el mundo gracias a las continuas inversiones en tecnología y equipamiento, la constante capacitación del personal y la permanente incorporación de medidas de seguridad en los procesos, equipos y operaciones que llevan a cabo las empresas del ramo. En Latinoamérica, de acuerdo a la Federación Interamericana del Cemento (2013), México es el segundo productor, solo detrás de Brasil. Actualmente, la industria mexicana del cemento y concreto, comienza a ser ejemplo del cuidado del medio ambiente, y genera más de 22 mil empleos directos, 110 mil indirectos, contribuyendo con poco más del 1% del Producto Interno Bruto (PIB).

De acuerdo al inventario de emisiones de GyCEI actualizado, el sector cementero emitió aproximadamente 34.3 MtCO₂e en el año 2015 representando aproximadamente el 4.6% del total de las emisiones nacionales.

1.2 Industria del acero

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO) México ocupa el 13vo puesto a nivel mundial como productor de acero, mientras que en América Latina ocupa el 2 lugar, cuenta con una capacidad instalada para producir 24.1 millones de toneladas, exporta 6 millones y sus importaciones son de 10 millones de toneladas anuales.

La producción Nacional de Acero pasó de 16.7 a 18.9 millones de toneladas (Mt) en el período comprendido del año 2004 a 2015. La industria siderúrgica tiene presencia prácticamente en todo el país y en 11 estados de la República se produce acero líquido, destacando: Coahuila, Michoacán,

Nuevo León, Guanajuato y Veracruz, estados cuya producción combinada representa 82.1% del total nacional.

La industria siderúrgica constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico de México. Su incidencia en la generación de valor agregado nacional y en la integración de las cadenas productivas es esencial. El sector siderúrgico representa el 2.2% del PIB nacional, así como una contribución del 6.4% del PIB Industrial y 12.6% del de manufacturas (CANACERO, 2017). A nivel internacional, México es el 13er productor de acero del mundo.

La industria metalúrgica es de gran importancia en términos de emisiones de GyCEI a nivel nacional, particularmente por su gran dependencia de materias primas y consumo energético. Para el año 2015, se estima que las emisiones de este sector son del orden de 23.6 MtCO₂e, representando el 3.6% del total de las emisiones nacionales.

1.3 Industria de la cal

De acuerdo al INEGI, en el país existen poco más de 120 unidades mineras dedicadas a la extracción y actividades de beneficio de piedra caliza y aproximadamente 40 plantas dedicadas a la fabricación de cal, principalmente propiedad de los grupos corporativos Calidra y Rebase, quienes representan el 98% de la producción nacional de cal y forman parte de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL). A nivel mundial, en 2015 se produjeron aproximadamente 350 millones de toneladas de cal, siendo China el principal productor mundial con el 65%, seguido de Estados Unidos e India con el 5.4% y 4.6% respectivamente. La producción mundial se ha incrementado 2.7 veces con respecto a los niveles de producción del 2005. Por su parte la producción de México representa cerca de 1.5% del total mundial de la producción de 2015 (ILA, 2015).

Para el año 2015, las emisiones provenientes de este sector se estimaron en aproximadamente 4.7 Mt CO₂eq, que representan aproximadamente 0.6% de las emisiones de GEI.

1.4 Industria del azúcar

La agroindustria azucarera mexicana es de gran importancia para la economía nacional. En los últimos 10 años, representó el 8% del PIB de la industria alimentaria y el 16% del PIB agrícola. Opera en 15 estados, con 57 ingenios (50 de ellos activos en 2016). La producción de azúcar se ubica en 15 entidades del país, y presenta las siguientes características: Veracruz produce el 36.5%, San Luis Potosí con 11.1%, Jalisco con 11%, y Oaxaca 5.9%; y Chiapas con 5.6%; estos estados concentran 70% de la producción nacional y el 30% restante se encuentra localizada en diez entidades. México aporta actualmente alrededor del 4% de la producción mundial de azúcar (USDA, 2017).

La industria azucarera es particularmente importante en México debido al tipo de combustibles que emplea, en particular el bagazo de la caña, cuya combustión genera importantes emisiones de partículas y por tanto de CN, siendo la principal fuente emisora de éste a nivel nacional.

Para el año 2016, el país contó con 50 ingenios en operación, los cuales emplearon en sus operaciones 15.2 millones de toneladas de bagazo y 30 mil m³ de combustóleo. Las emisiones de GyCEI estimadas para este sector fueron de aproximadamente 285 mil toneladas de CO₂e.

En el caso de las emisiones de carbono negro, se estima que para el año 2016 se emitieron poco más de 22 mil toneladas, que representan aproximadamente el 20% de las emisiones nacionales de carbono negro. Para este análisis, y con la finalidad de refinar las estimaciones emisiones de partículas y por lo tanto de carbono negro, se verificó la existencia de sistemas de control de partículas en los distintos ingenios analizados.

1.5 Análisis de *roadmaps* y definición de medidas para los distintos sectores

Como parte de esta consultoría se llevó a cabo una extensa y detallada revisión bibliográfica de las medidas de mitigación existentes a nivel internacional y nacional para cada uno de los sectores en estudio y los potenciales de mitigación de GyCEI asociados a éstas.

De esta primera lista de medidas potenciales se seleccionaron aquéllas con posible aplicación en México para ser incluidas dentro de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND) y se determinó un primer escenario de reducción de emisiones con base en la información disponible de cada sector.

De manera paralela y en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático se identificaron y contactaron a los principales tomadores de decisión de los sectores analizados para realizar presentaciones y talleres de trabajo sobre las medidas de mitigación propuestas. Los principales grupos y asociaciones que tomaron parte en las distintas reuniones fueron:

- Cámara Nacional de la Industria del Cemento (CANACEM) integrada por CEMEX, Lafarge-Holcim, CYCNA, GCC, Moctezuma y Cementos Fortaleza;
- Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO) con representantes de AHMSA, ArcelorMittal y Ternium;
- Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL) con representantes de Grupo Calidra y Grupo Rebas;
- Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera (CNIAA).
- Adicionalmente se contó con la participación de representantes de otras instituciones como la Comisión Reguladora de Energía (CRE).

Fue un proceso interactivo donde cada uno de los sectores participó activamente, emitiendo comentarios y retroalimentando activamente para definir y consensar las medidas a incluir en la

CND. Asimismo, cada uno de los actores involucrados envió información complementaria para estimar los potenciales de mitigación de cada una de las medidas acordadas.

A continuación se enlistan las medidas acordadas por sector para incluirse en la CND, el potencial de mitigación asociado y las curvas de costos marginales de abatimiento costos estimados por la implementación de cada medida:

Para el análisis de cada uno de los sectores se ha estimado la mitigación comparando contra las emisiones de la línea base del año 2013, las cuales se presentan con una línea amarilla en los diferentes gráficos que se presentan a continuación.

1.6 Medidas de mitigación del sector cemento

Medidas cuantitativas

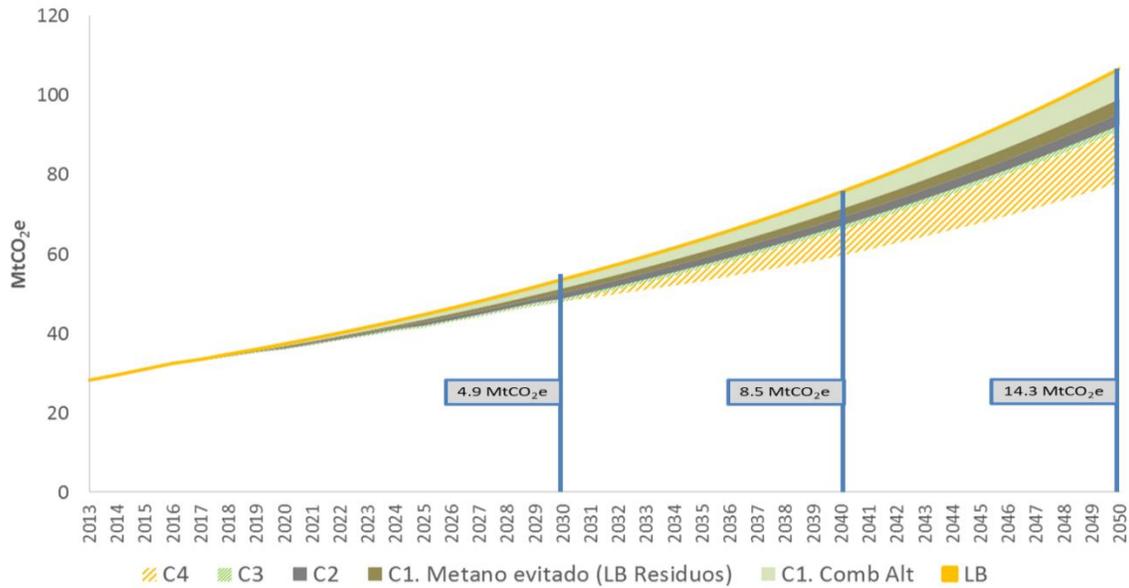
- C1. Incrementar la participación de combustibles alternativos en el consumo térmico del sector
- C2. Sustitución de clinker por otros materiales cementantes

Medidas cualitativas

- C3. Captura y Secuestro de Carbono en el sector Cemento
- C4. Sustitución de coque de petróleo por gas natural

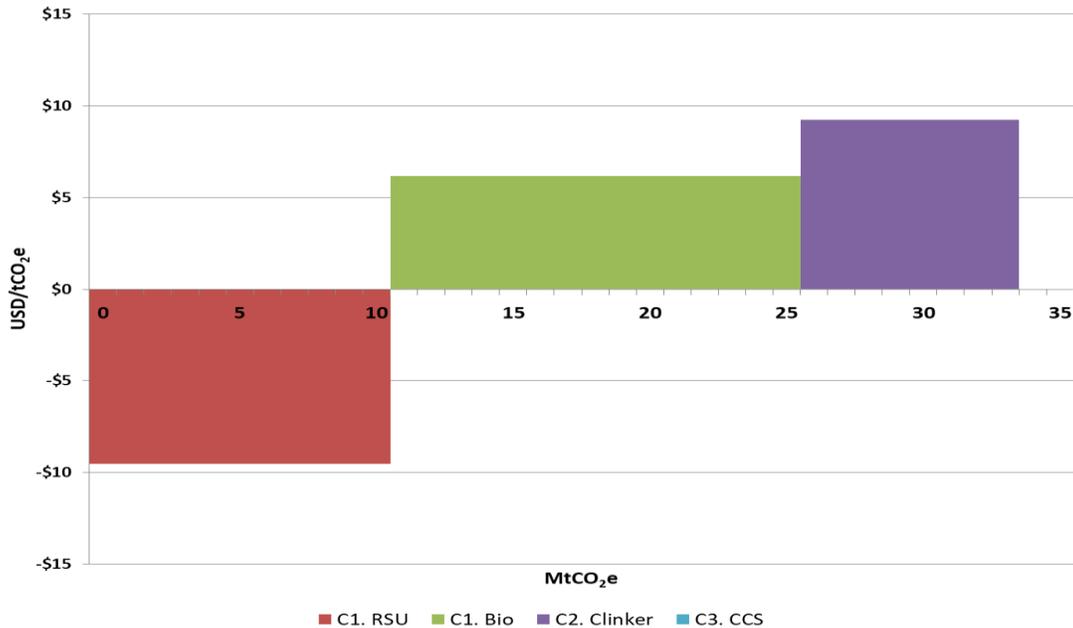
Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e	
		2030	2050
Cuantitativas	C1. Por sustitución de combustibles fósiles	15.31	108.12
	C1. Por metano evitado en sitios de disposición de residuos (LB residuos)	8.12	54.19
	C2. Sustitución de clinker por otros materiales cementantes	7.81	51.13
	Total	31.24	213.44
Cualitativas	C4. Sustitución de coque de petróleo por gas natural	4.83	25.42
	C3. Captura y Secuestro de Carbono en el sector Cemento	-	135.29
	Total	4.83	160.71
Total general		36.07	374.15

Figura 1 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cemento



Fuente: Elaboración propia.

1.6.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector cemento

Para implementar la ruta de mitigación del sector cemento es indispensable revisar la legislación de gestión de residuos sólidos (LGPGIR y regulaciones estatales) para ofrecer un marco legal que garantice una separación y manejo óptimos. En este sentido SEMARNAT y las autoridades locales deben dirigir su política para desincentivar la disposición de residuos y promover su tratamiento por medio de coprocesamiento, en los sitios que resulte viable, y mediante procedimientos homólogos entre entidades. Se deben expedir reglamentos y normas locales que establezcan condiciones y características deseables de los residuos que hagan factible su aprovechamiento térmico, desde una perspectiva técnica y económica, frente a los combustibles tradicionales. Similarmente se recomienda revisar los procedimientos relativos a coprocesamiento incluidos en la NOM-040, para facilitar el uso y monitoreo de combustibles alternativos no peligrosos.

Para el aprovechamiento energético de la biomasa en cementeras deben realizarse estudios específicos a nivel regional o local. Es indispensable una política nacional que promueva la creación de una cadena de valor para el suministro de biomasa, a través del liderazgo de SEMARNAT y SENER. Debido a que en la actualidad el precio de la biomasa es una barrera deberá estudiarse la viabilidad de establecer algún tipo de incentivo económico que promueva su uso.

Es necesario revisar a detalle los factores de emisión y las consideraciones teóricas de la neutralidad de la biomasa dentro del esquema de reporte del RENE; lo anterior requiere una amplia

coordinación entre el INECC y SEMARNAT junto a la CANACEM con la finalidad de homologar metodologías.

Con el fin de corroborar la viabilidad de la medida de sustitución de clínker por cenizas de carboeléctricas, la SEMARNAT en conjunto con el INECC podrían realizar la gestión técnico-financiera para llevar a cabo una prueba piloto en alguna instalación cementera cercana a una planta carboeléctrica. De igual forma, es indispensable que los actores del sector, junto con SEMARNAT y con el apoyo del INECC, delinear un modelo de negocio atractivo para el aprovechamiento de cenizas de carboeléctricas como sustituto de clínker. Esto tomando en cuenta la regulación actual de la Comisión Federal de Electricidad, así como las condiciones de mercado de los cementos puzolánicos en México, los cuales requieren su promoción en el corto plazo.

El MRV del sector puede implementarse a través de los mecanismos existentes del RENE y COA, si bien puede requerirse concretar acuerdos de transferencia de información de los grupos cementeros o la cámara en lo referente a especificaciones de combustibles alternativos y al seguimiento del factor de clínker.

1.7 Medidas de mitigación del sector acero

Medidas cuantitativas

- A1. Incremento de la producción con horno de arco eléctrico (DRI y Chatarra)
- A2. Captura y aprovechamiento de CO₂ como insumo para otros sectores

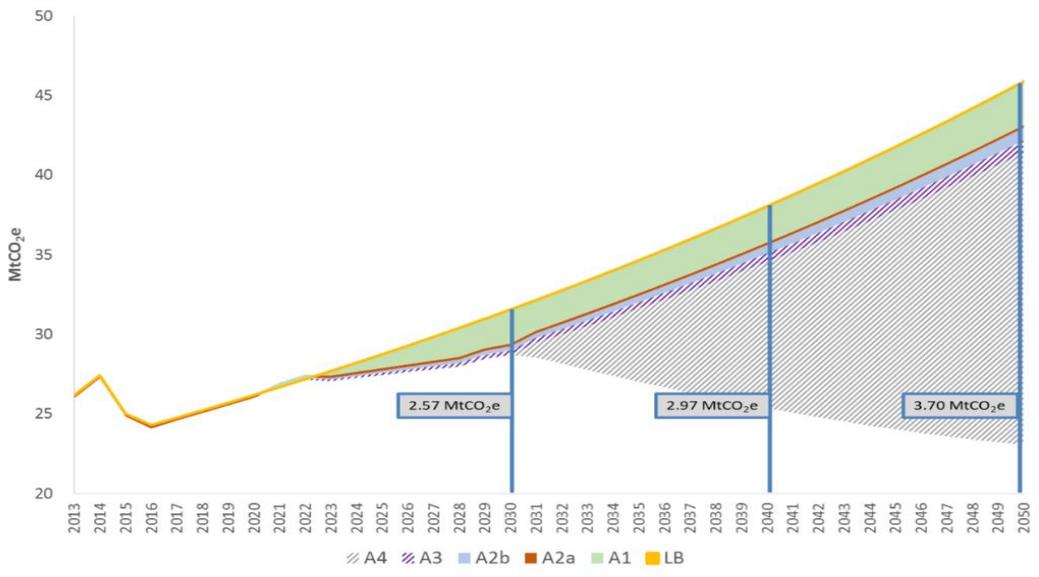
En el caso de la medida A2 se han analizado dos escenarios, uno que corresponde a mantener los niveles promedio de aprovechamiento de CO₂ y un segundo que evalúa la posibilidad de un aumento de la captura.

Medidas cualitativas

- A3. Nuevas mejoras en eficiencia energética
- A4. Captura y Secuestro de Carbono en el sector Acero

Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e	
		2030	2050
Cuantitativas	A1. Incremento de la producción con horno de arco eléctrico (DRI y Chatarra)	9.59	55.60
	A2. Captura y aprovechamiento de CO ₂ como insumo para otros sectores	4.61	18.94
	Total	14.20	74.54
Cualitativas	A3. Nuevas mejoras en eficiencia energética	1.66	12.48
	A4. Captura y Secuestro de Carbono en el sector Acero	-	192.76
	Total	1.66	205.24
Total general		15.86	279.78

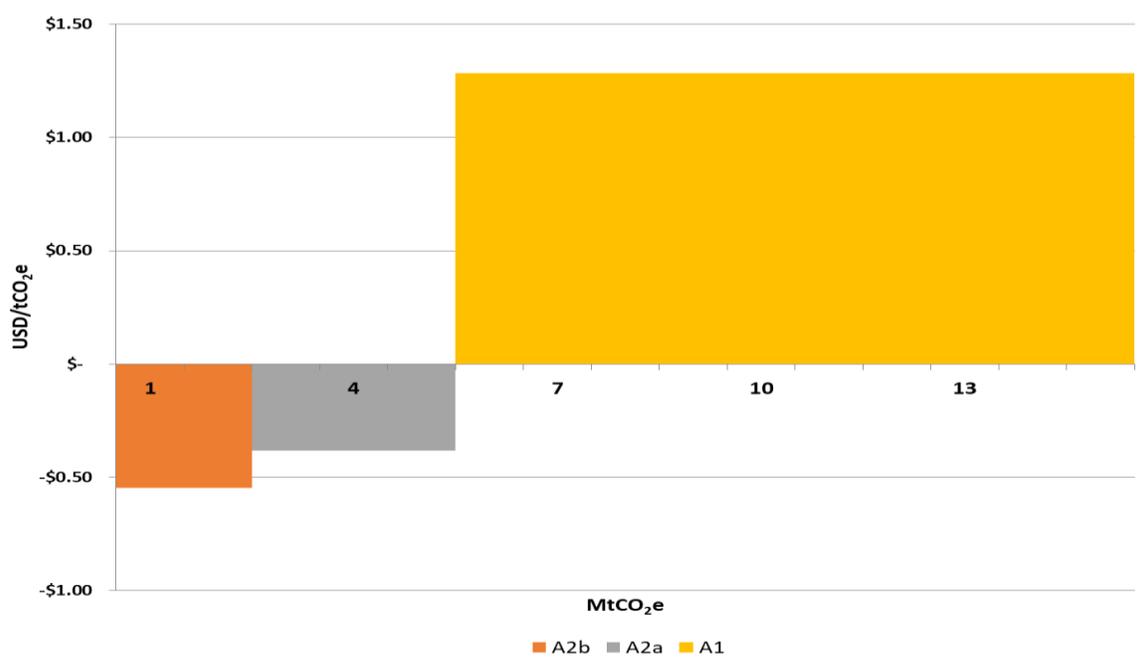
Figura 3 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Acero



Fuente: Elaboración propia.

Derivado del análisis de costos de las medidas cuantitativas se ha construido la siguiente curva de costos marginales:

Figura 4 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Acero



Fuente: Elaboración propia.

1.7.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector acero

Para implementar la ruta de mitigación del sector acero debe homologarse la metodología de cálculo de emisiones de combustión y proceso ya que en las condiciones actuales se dificulta la obtención de una línea base de emisiones consistente, en la que se contemple la inclusión del uso energético del gas de alto horno y el gas de coque.

En lo referente a la medida de incremento del uso de chatarra, deben apoyarse las modificaciones de la LGPGIR y normas relativas propuestas por el sector para reconocer a la chatarra como materia prima, y que represente una oportunidad viable para incrementar la participación de este proceso productivo.

De manera paralela deben sostenerse acercamientos con las autoridades reguladores de energía (SENER, CENAGAS, CRE) en lo referente a asegurar el creciente abastecimiento necesario de gas natural para el sector.

Además existe una oportunidad de incrementar el uso de escorias del sector acero en la construcción. Debe retomarse el acuerdo de reciclabilidad de las escorias (publicado en el 2006 en el DOF) que requiere de la intervención y participación por parte de la autoridad en todos los niveles para incrementar el uso de estos materiales.

El MRV del sector puede implementarse a través de los mecanismos existentes del RENE y COA, si bien es indispensable homologar los criterios de cuantificación de emisiones y reducciones para el sector.

1.8 Medidas de mitigación del sector cal

Medidas cuantitativas

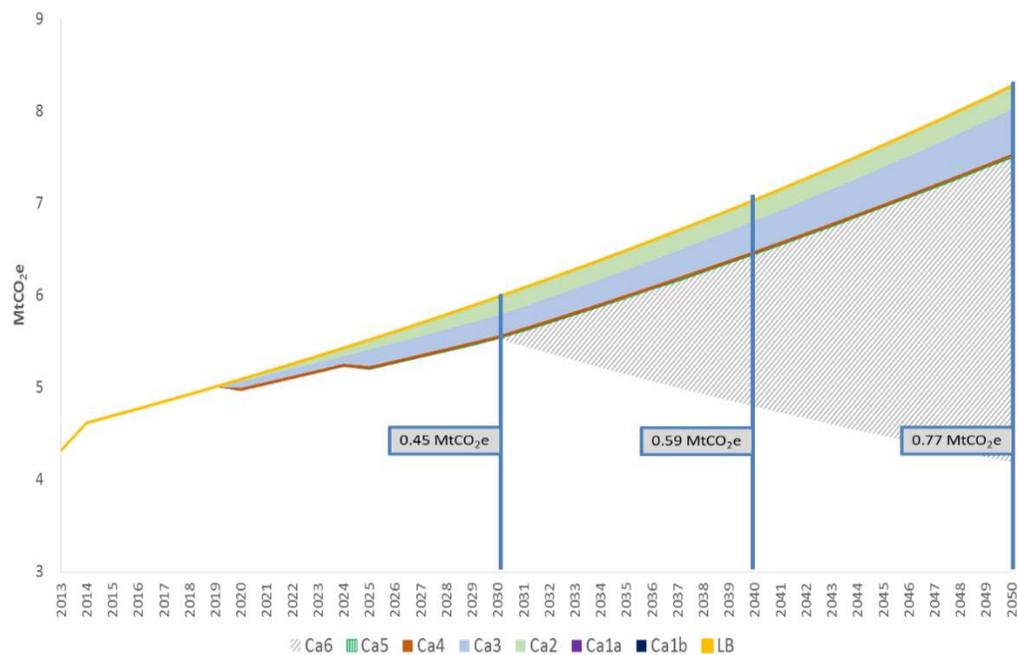
- Ca1. Cogeneración eficiente
- Ca2. Uso de biomasa como combustible alternativo
- Ca3. Uso de GN para sustituir el uso de carbón y coque
- Ca4. Sustitución de hornos rotatorios
-

Medidas cualitativas

- Ca5. Nuevas mejoras en eficiencia energética
- Ca6. Captura y Secuestro de Carbono en el sector Cal

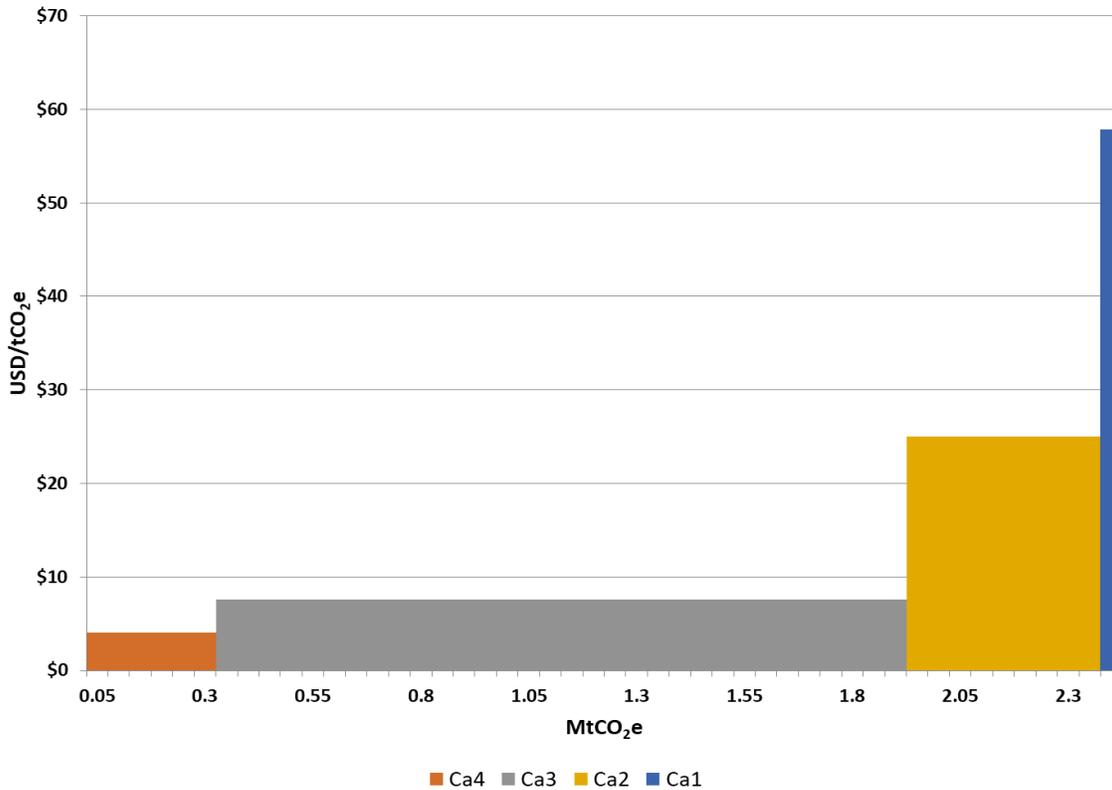
Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e	
		2030	2050
Cuantitativas	Ca3. Uso de GN para sustituir el uso de carbón y coque	1.59	2.89
	Ca2. Uso de biomasa como combustible alternativo	1.13	5.57
	Ca4. Sustitución de hornos rotatorios	0.39	1.09
	Ca1. Cogeneración eficiente	0.04	0.11
	Total	3.15	9.66
Cualitativas	Ca5. Nuevas mejoras en eficiencia energética	0.06	0.24
	Ca6. aptura y Secuestro de Carbono en el sector Cal	-	34.75
	Total	0.06	34.99
Total general		3.21	44.41

Figura 5 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Cal



Fuente: Elaboración propia.

1.8.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector cal

Para implementar la ruta de mitigación del sector cal debe darse acompañamiento en los proyectos dirigidos al empleo de biomasa sólida residual en lugar de coque de petróleo y facilitar los trámites institucionales para su aprovechamiento. Así como para el sector cemento, las autoridades SEMARNAT y SENER, apoyadas por INECC, deberán consensar un plan para la creación de cadenas de valor para el suministro de biomasa en las regiones de alto potencial. También se debe analizar la factibilidad de ofrecer incentivos por el uso de biomasa.

Asimismo, deberá darse seguimiento a la posible implementación del sistema de aprovechamiento de gases residuales mediante sistemas ORC para determinar su viabilidad en el ámbito nacional. Debido a la poca experiencia que se tiene en la implementación de esta tecnología se requiere un diagnóstico inicial que contemple a las principales plantas caleras del país, tendiente a la realización de proyectos pilotos sectoriales, y a la búsqueda de esquemas y modelos de financiamiento.

Finalmente, se debe diagnosticar con precisión las oportunidades de ahorro energético que presenta el sector tanto en electricidad como energía térmica. Esto deberá efectuarse de la mano de CONUEE y SENER, atendiendo a las necesidades particulares del sector. La modernización de algunas plantas se encuentra en puerta por lo que es apropiada la intervención en el corto plazo.

El MRV del sector puede implementarse a través de los mecanismos existentes del RENE y COA, si bien deben de revisarse y homologarse criterios de cuantificación de emisiones por el uso de biomasa en proyectos de mitigación. De igual manera podría ser necesario concretar acuerdos de transferencia de información con la ANFACAL o directamente con los grupos industriales para el seguimiento de acciones específicas de eficiencia energética, como la sustitución de hornos rotatorios o verticales viejos u otros equipos de producción.

1.9 Medidas de mitigación del sector ingenios azucareros

Medidas cuantitativas

- I1. Cogeneración eficiente y venta de excedentes
- I2. Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN
- I3. Eliminación del uso de combustóleo
- I4. Implementar medidas de eficiencia energética en ingenios

Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e		Reducciones acumuladas t CN	
		2030	2050	2030	2050
Cuantitativas	I1. Cogeneración eficiente y venta de excedentes (LB generación electricidad)	7.13	33.63		
	I3. Eliminación del uso de combustóleo	0.43	0.47		
	I4. Implementar medidas de eficiencia energética en ingenios	0.21	1.09		
	I2. Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN	-	-	351,438	1,660,326
Total general		7.77	35.19	351,438	1,660,326

En el caso de la cogeneración se han analizado cinco casos diferentes de acuerdo con el potencial de generación eléctrica que existiría. En la tabla siguiente se muestran estos escenarios y las

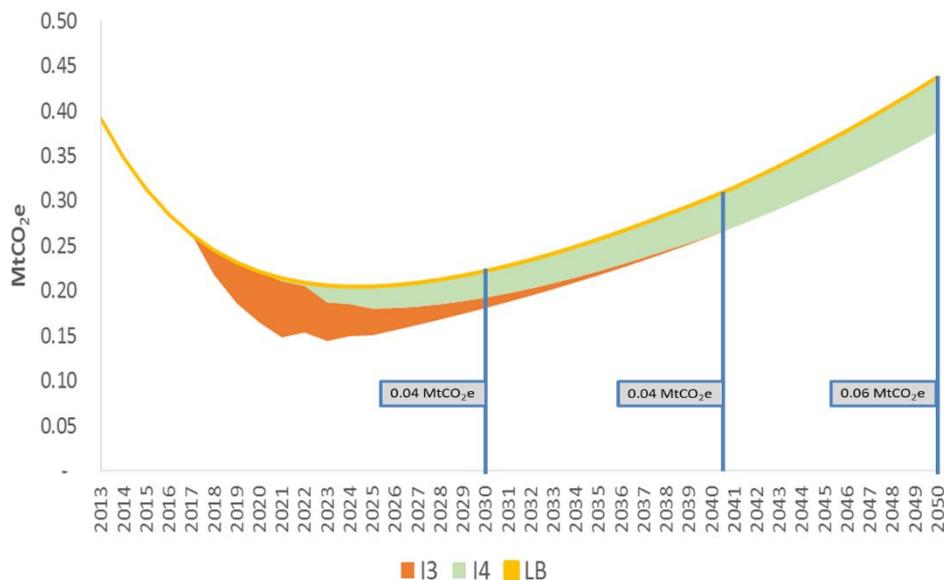
correspondientes reducciones asociadas, las cuales deberán analizarse en la línea base de generación de electricidad.

Caso	Potencial de generación (kWh/t caña)	Potencial anual de reducción de emisiones (MtCO ₂ e/año)
a	24.6	0.41
b	31.5	0.53
c	63.0	1.05
d	72.2	1.20
e	79.5	1.33

En el caso de la eliminación del uso de combustóleo (I3) se han evaluado dos escenarios económicos, el primero considerando que los ingenios no deben pagar por el bagazo extra para sustituir el combustible fósil (I3a) y el segundo en el que habría un costo para la adquisición del combustible (I3b), en ambos casos la mitigación asociada es la misma.

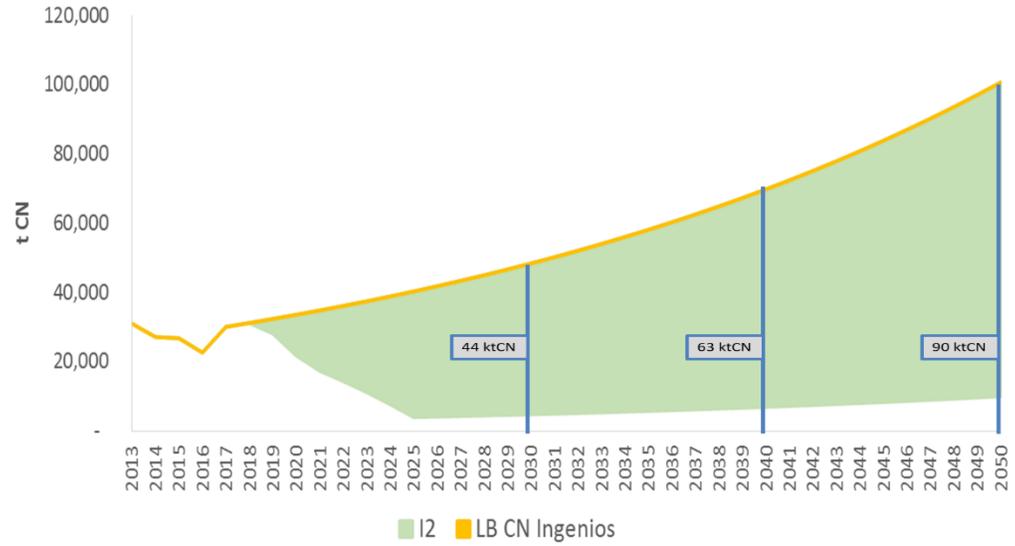
Igualmente en el caso del control de partículas mediante la instalación de sistemas de control se ha evaluado la aplicación de tres diferentes sistema: casas de bolsas, precipitadores electrostáticos y scrubbers, para cada sistema se han evaluado dos escenarios, el primero tomando en cuenta las externalidades asociadas a la emisión de partículas (I2a, I2c e I2e respectivamente) y el segundo sin considerarlas (I2b, I2d e I2f).

Figura 7 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (GEI)



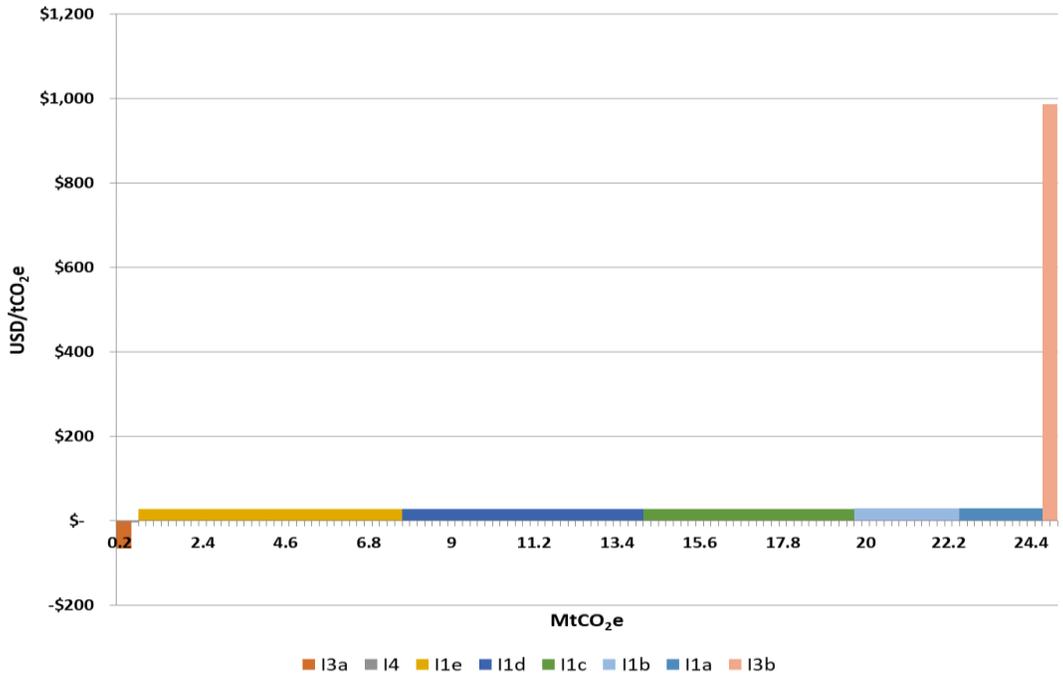
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (CN)



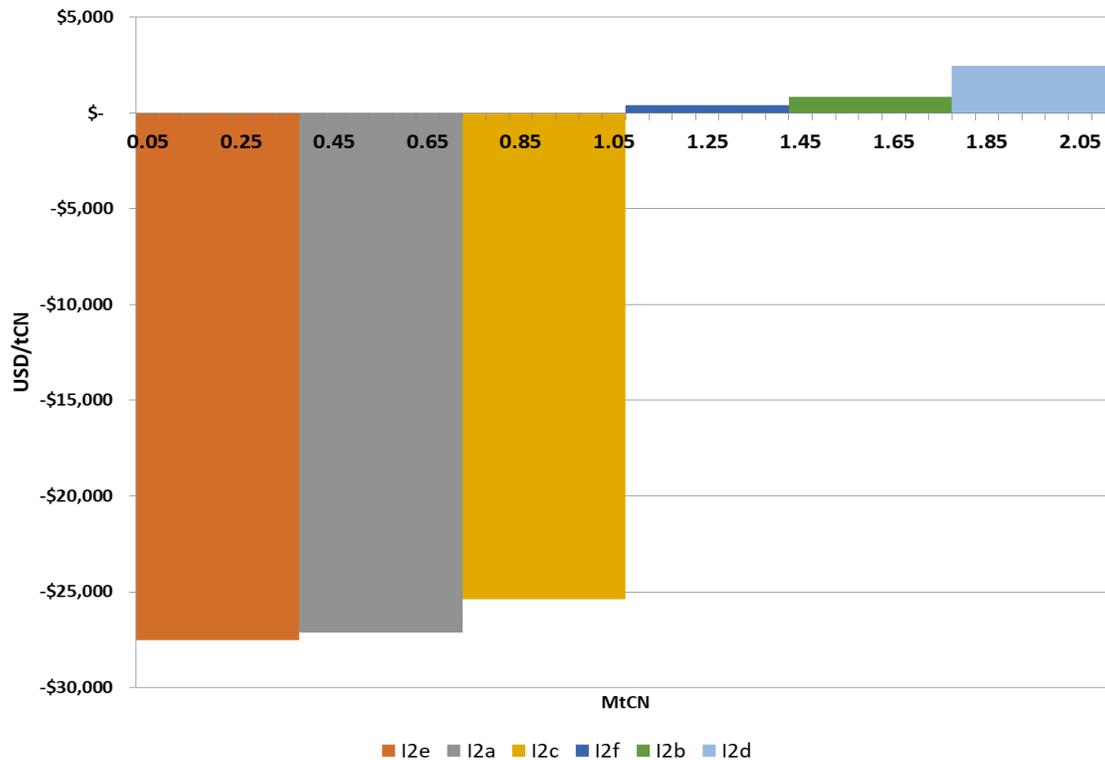
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (GEI)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Ingenios azucareros (CN)



Fuente: Elaboración propia.

1.9.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector ingenios azucareros

Para implementar la ruta de mitigación del sector de ingenios azucareros es importante apoyar la aplicación del proyecto de NOM-170, así como de los proyectos que se deriven del financiamiento de la NAMA el sector azucarero.

Si bien la NOM-170 de ingenios es un paso importante para la mitigación de CN, es relevante comentar que la estimación de emisiones del año 2013 para el sector ingenios azucareros partía del supuesto de que no existían sistemas o equipos de control en ninguno de los ingenios que operaban en el territorio nacional lo que aumenta el nivel de incertidumbre de los datos del inventario. Sin embargo, y con base en información de la Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera (CNIAA) a la fecha existen varios ingenios que cuentan con equipos de control de emisiones aunque se desconoce con certeza el tipo y la eficiencia de los mismos.

Por este motivo, será fundamental actualizar el inventario de emisiones de carbono negro de la industria azucarera; deben verificarse los sistemas y equipos existentes así como sus características

de operación, lo que permitirá contar con una mayor precisión de los órdenes de magnitud actuales de carbono negro.

Paralelamente y derivado de la misma incertidumbre existente en las mediciones de concentraciones de partículas del sector, las cuales pueden ir desde 70 hasta 700 mg/m³, la CNIAA y los ingenios afiliados a ésta, realizarán una campaña de diagnóstico, los datos generados deberán ser retomados en su momento para complementar la actualización del inventario de emisiones de carbono negro.

Un número importante de ingenios a requerirán de esquemas atractivos de financiamiento para la instalación de equipos de control para el cumplimiento de la norma y por ende para la mitigación de emisiones de carbono negro.

De la misma manera debe inducirse a los propietarios de ingenios azucareros a diversificar su actividad como potenciales productores de energía eléctrica.

Finalmente, se recomienda llevar a cabo una revisión detallada de los componentes del RENE para garantizar que los proyectos de mitigación así como eficiencia energética que realicen las empresas de los sectores en estudio puedan ser registrados y sus reducciones de emisiones cuantificadas como parte de las CND.

1.10 Panorama general y medidas de mayor ambición.

Dentro de las medidas analizadas se han identificado aquéllas con el mayor potencial de mitigación:

1. C1. Incrementar la participación de combustibles alternativos en el consumo térmico del sector cemento
2. A1. Incremento de la producción con horno de arco eléctrico (DRI y Chatarra) en el caso de reducción de emisiones de GEI.
3. I2. Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN. Cada una de ellas involucra barreras de diferentes índoles que deberán ser superadas para lograr una implementación exitosa.

En el caso del cemento, en el co-procesamiento de RSU y RME, cuya regulación es obligación de municipios y estados, respectivamente de acuerdo a la LGPGIR, persiste una falta de homologación de criterios y requisitos para obtención de permisos. Esto ocasiona problemas para gestionar estos residuos, así como demora en la obtención de licencias. La mayoría de municipios carece de una regulación sólida que genere certeza de la correcta separación de los RSU en fracciones diferenciadas, lo cual es esencial para que puedan ser aprovechados en las plantas cementeras. Además persiste un problema estructural en las finanzas de los municipios por falta de cobro de los servicios de limpia y manejo de residuos y, en general, por ineficacia institucional, lo que imposibilita que cuenten con infraestructura adecuada para la recolección, separación, transporte y acondicionamiento de RSU para su uso en cementeras, como alternativa de manejo de residuos.

Asimismo, actualmente en las metodologías de cuantificación de GEI del RENE no se permite asignar una tasa cero de emisión a los combustibles alternativos como la biomasa o la fracción biogénica de los RSU. Esto no es congruente con las metodologías internacionales, por lo que deberá revisarse en breve y el INECC deberá jugar un rol técnico importante en materia de recomendaciones.

En el caso de la industria del acero, el incremento de la producción vía EAF – base chatarra o DRI – implica esfuerzos tanto sectoriales como de política pública. Como en el caso del cemento, la falta de un marco jurídico más robusto para el sector residuos que reconozca la chatarra de acero como materia prima, es una importante limitante para incrementar su disponibilidad, pues actualmente en algunos casos es considerada como un residuo de manejo especial, lo que dificulta su acopio, manejo y transporte y además genera una mayor carga administrativa y económica. La Unión Europea y los Estados Unidos han establecido un marco jurídico que reconoce a la chatarra como una materia prima, utilizada en la producción de acero a través de su reciclaje e incorporación en los procesos productivos que la generaron. También es necesario incentivar darle valor agregado a esta materia prima en territorio nacional, con objeto de reducir su exportación. El acero reciclado

se encuentra en desventaja en varios factores de competitividad como son la calidad de la infraestructura, la informalidad que prevalece en el sector del reciclaje, el costo fiscal y el riesgo que representa las nuevas regulaciones energéticas y ambientales, como la Ley de Transición Energética, que amenazan con incrementar el costo energético.

En el caso de la producción vía DRI, la calidad del gas natural disponible en el mercado es un factor determinante, ya que el alto contenido de nitrógeno del gas suministrado en algunas regiones, representa una problemática que reduce significativamente la eficiencia del proceso. Ante la incertidumbre de todos estos aspectos, no es posible determinar un posible incremento de la producción a través de este proceso, en tanto no exista certeza en el mercado del gas natural.

En el caso del control de las emisiones de carbono negro existen barreras puntuales que deberán superarse durante el proceso de implementación, principalmente el monto de inversión y la disponibilidad de espacio para instalación de los equipos de control en los ingenios azucareros y así como la mejora de la eficiencia de la combustión, que en muchos casos requerirá rediseñar los generadores de vapor lo cual implica altos costos. El nivel de obsolescencia de gran cantidad de equipos, aunado a los desbalances de materia y energía impedirían el cumplimiento de la NOM-170 en el plazo establecido. En este caso, el acompañamiento técnico del INECC para el sector azucarero será fundamental, inicialmente, para determinar la magnitud real de las emisiones del sector, para el diseño de los proyectos de control de emisiones que cada uno de los ingenios realizará y posteriormente de los reportes correspondientes a las reducciones de emisiones que se efectuarán anualmente.

1.11 Costos a valor presente de las medidas de mayor mitigación.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de todas las medidas desarrolladas para los cuatro sectores donde se indican los costos a valor presente de los diferentes escenarios contemplados en cada caso, considerando una tasa de cambio de \$19.47 MNX/USD, dichos escenarios fueron descritos detalladamente en el informe final de las rutas tecnológicas.

Para las medidas de mayor mitigación del sector acero los costos a valor presente al 2030, relativa al incremento de producción con arco eléctrico es -\$12 millones de USD (MUSD) en ambos escenarios: sin y con incremento de la capacidad instalada.

En el caso del sector cemento la mitigación más importante puede derivarse de la sustitución de combustibles por biomasa y residuos sólidos urbanos (RSU), el costo a valor presente para el año 2030 es de -\$91 MUSD para el caso de sustitución vía biomasa, mientras que la sustitución térmica arrojaría un saldo positivo de \$105 MUSD.

Finalmente, el control de partículas eficiente en las calderas bagaceras del sector azucarero, tendrá un fuerte impacto en la mitigación de carbono negro pero con costos a valor presente negativos para el 2030, que dependiendo de las tecnologías de control seleccionadas, podrán fluctuar entre los \$139 y \$866 MUSD.

Costo de las medidas expresado en VPN al 2030 y 2050

Medida	Nombre de la medida	VPN (MUSD)		VPN (millones de pesos)	
		2030	2050	2030	2050
Sector Acero					
A1a	Aumento de producción con horno de arco eléctrico	-\$ 12	-\$ 46	-\$ 240	-\$ 900
A1b	Aumento de producción con horno de arco eléctrico	-\$ 12	-\$ 190	-\$ 240	-\$ 3,696
A2a	Captura y aprovechamiento de CO2 como insumo para otros sectores	\$ 1	\$ 2	\$ 23	\$ 30
A2b	Captura y aprovechamiento de CO2 como insumo para otros sectores	\$ 3	\$ 4	\$ 49	\$ 76
Sector Cemento					
C1-Bio	Incrementar la participación de combustibles alternativos en el consumo térmico del sector cemento	-\$ 91	-\$ 122	-\$ 1,768	-\$ 2,383
C1-RSU	Incrementar la participación de combustibles alternativos en el consumo térmico del sector cemento	\$ 105	\$ 318	\$ 2,044	\$ 6,180
C2	Sustitución de clinker por otros materiales cementantes	-\$ 72	-\$ 172	-\$ 1,404	-\$ 3,355
Sector Cal					
Ca1a	Cogeneración eficiente	-\$ 2	-\$ 1	-\$ 44	-\$ 28
Ca1b	Cogeneración eficiente	-\$ 1	-\$ 1	-\$ 20	-\$ 13
Ca2	Uso de biomasa como combustible alterno	-\$ 12	-\$ 22	-\$ 225	-\$ 425
Ca3	Uso de GN para sustituir el uso de carbón y coque	-\$ 12	-\$ 25	-\$ 234	-\$ 491
Ca4	Sustitución de hornos rotatorios	-\$ 1	\$ 3	-\$ 25	\$ 64
Setor Ingenios					
I1a	Cogeneración eficiente y venta de excedentes	-\$ 67	\$ 4	-\$ 1,311	\$ 76
I1b	Cogeneración eficiente y venta de excedentes	-\$ 84	\$ 10	-\$ 1,635	\$ 196
I1c	Cogeneración eficiente y venta de excedentes	-\$ 160	\$ 38	-\$ 3,113	\$ 743
I1d	Cogeneración eficiente y venta de excedentes	-\$ 182	\$ 46	-\$ 3,545	\$ 903
I1e	Cogeneración eficiente y venta de excedentes	-\$ 200	\$ 53	-\$ 3,888	\$ 1,030
I2b	Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN	-\$ 299	-\$ 348	-\$ 5,825	-\$ 6,765
I2d	Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN	-\$ 866	-\$ 980	-\$ 16,861	-\$ 19,067
I2f	Instalación de sistemas de control de partículas para mitigar emisiones de CN	-\$ 139	-\$ 161	-\$ 2,699	-\$ 3,134
I3a	Eliminación del uso de combustóleo	\$ 28	\$ 29	\$ 547	\$ 567
I3b	Eliminación del uso de combustóleo	-\$ 423	-\$ 438	-\$ 8,232	-\$ 8,524
I4	Implementar medidas de eficiencia energética en ingenios	\$ 1	\$ 103	\$ 16	\$ 2,005

1.12 Aportación a las contribuciones nacionales determinadas (NDC)

La meta establecida en las NDC presentadas por México para el sector industrial es lograr una reducción de 8.0 MtCO₂ para el año 2030, mientras que las reducciones potenciales para ese año de los cuatro sectores en estudio serían las siguientes:

Sector	Mitigación 2030 MtCO ₂
Acero	2.57
Cal	0.45
Cemento	4.90
Azúcar*	0.04
TOTAL	7.96

* SE REFIERE A LAS EMISIONES DE GEI POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Como se observa, la mitigación potencial para el año 2030 de los cuatro sectores en estudio cubriría prácticamente la totalidad de la meta de México para el sector industrial, de lo anterior se infiere, que con la mitigación que se logre a través de las otras ramas industriales, México cumplirá sobradamente con la meta comprometida.

En materia de Carbono Negro, el control eficiente de partículas en el sector impulsado por la aplicación de la NOM -170 -SEMARNAT -2017, conllevaría a un cumplimiento muy satisfactorio de la meta comprometida por México de 15 ktCN contra 44kt posibles a través de la ruta tecnológica generada para el presente estudio.

2 Segunda Parte: industria de la minería y gases F

2.1 Industria de la minería

El mercado mexicano del carbón exige distintas propiedades, principalmente el poder calorífico, esto para poder ser comercializado, entre los que destacan: el carbón térmico y el metalúrgico. El primero se utiliza en la producción de calor, básicamente en hornos, generación de vapor y otros sistemas térmicos. El segundo, se consume en el área siderúrgica para la producción de coque. Esto hace que ambos tipos de carbón se comercialicen en diferentes mercados.

La producción nacional de carbón, en 2014, fue de 18.1 millones de toneladas, lo que representó un incremento del 2.8%, con respecto a las 17.6 millones de toneladas producidas en 2013 (SE, 2016). Coahuila es el principal productor en México, aunque Sonora también ha registrado producción desde 2003.

En México, las principales empresas mineras dedicadas a la extracción de carbón se encuentran afiliadas a la Cámara Minera de México (CAMIMEX) y son: Minera del Norte (AHMSA), MINSA y Grupo México.

Se estima que el 39.12% de la producción es de carbón térmico (una tercera parte la generan los pequeños productores), el 47.06% es de carbón coquizable, y el 13.81% restante lo genera el carbón lavado. La producción de carbón en México se concentra en las grandes minas de Minera Carbonífera Río Escondido (MICARE) y Minerales Monclova, S.A. (MIMOSA), ambas propiedad de AHMSA.

Además, existen pequeños productores que destinan su producción para la generación de energía eléctrica (carbón térmico); mientras que los grandes productores, además de proveer a las plantas carboeléctricas, también extraen para su autoconsumo en sus procesos metalúrgicos (carbón coquizable), ya que son subsidiarias de empresas siderúrgicas.

De acuerdo al inventario de emisiones de GyCEI actualizado, la industria de la minería de carbón emitió aproximadamente 7.8 MtCO₂e en el año 2015 representando poco más del 1% del total de las emisiones nacionales.

2.2 Gases-F

Los gases fluorados o Gases F se utilizan en varios tipos de productos y aparatos, principalmente como sustitutos de las sustancias que agotan el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los halones que se están eliminando en virtud del Protocolo de

Montreal y la legislación de la Unión Europea. Los principales gases- F son los hidrofluorocarburos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆). Estos gases suelen emitirse en cantidades más pequeñas que otros GEI más comunes, pero debido a que son potentes gases de efecto invernadero, a veces se denominan gases de alto potencial de calentamiento global ("gases de alto PCG").

Los HFC se introdujeron gradualmente en México a partir del año 2000 como resultado de los planes de eliminación de CFC y HCFC que se han implementado exitosamente desde décadas atrás (UNEP, 2015). Si bien no existe ninguna empresa productora de HFC en México, éstos se han importado y comercializado de manera creciente desde alrededor del 2007 y hasta la fecha. El consumo aparente de HFC en México durante 2015 fue de alrededor de 25 mil toneladas (UNIDO, 2017).

Los HFC tienen diversas aplicaciones, desde su uso como refrigerante en equipo RAC doméstico, comercial y móvil, hasta como agente de soplado de espumas aislantes, propelente de aerosoles, supresor de fuego y solvente.

La cadena de distribución de HFC en México se compone por diversos actores, destacando los importadores y exportadores de sustancias puras y mezclas, los proveedores y distribuidores y, finalmente, las empresas y técnicos de servicios.

Las importaciones de HFC se llevan a cabo en su mayoría por algunas de las empresas aglomeradas por la Asociación Nacional de Fabricantes de la Industria de Refrigeración (ANFIR). Estas empresas concentran alrededor de 75% de las operaciones de importación: Quimobásicos, Chemours (antes Du Pont), Arkema, Solvay y Mexichem. Dichos importadores suministran HFC a otros distribuidores de mayoreo o menudeo, a fabricantes de equipo original (OEM, por sus siglas en inglés), así como a empresas o técnicos de servicio.

Las emisiones de HFC contribuyen aproximadamente con 1.7% de las emisiones nacionales de GEI. En particular, el sector RAC es el mayor contribuyente al total de emisiones actuales por consumo de HFC en México, representando aproximadamente el 88% de las emisiones en 2015 (9.89 MtCO₂e), el segundo mayor contribuyente es el sector de aerosoles con 6.9% (0.78 MtCO₂e) seguido del sector de espumas con el 3.7% (0.42 MtCO₂e).

Por su parte, las emisiones de HFC-23 como subproducto de la producción de HCFC-22 se estimaron en aproximadamente 1.44 MtCO₂e para el año 2015.

2.3 Análisis de *roadmaps* y definición de medidas para los sectores

Como parte de esta consultoría se llevó a cabo una revisión bibliográfica detallada de las medidas de mitigación existentes a nivel internacional y nacional para cada uno de los sectores en estudio y los potenciales de mitigación de GYCEI asociados a éstas.

De esta primera lista de medidas potenciales se seleccionaron aquéllas con posible aplicación en México para ser incluidas dentro de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) y se

determinó un primer escenario de reducción de emisiones con base en la información disponible de cada sector.

De manera paralela y en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático se identificaron y contactaron a los principales tomadores de decisión de los sectores analizados para realizar presentaciones y solicitudes de información sobre las medidas de mitigación propuestas. Los principales grupos y asociaciones que tomaron parte en las distintas reuniones fueron:

- AHMSA
- Unidad de Protección a la Capa de Ozono

A través de este proceso interactivo, cada uno de los actores involucrados envió comentarios e información complementaria para estimar los potenciales de mitigación de cada una de las medidas acordadas.

A continuación se enlistan las medidas acordadas por sector para incluirse en la NDC, el potencial de mitigación asociado y las curvas de costos marginales de abatimiento costos estimados por la implementación de cada medida:

Para el análisis de cada uno de los sectores se ha estimado la mitigación comparando contra las emisiones de la línea base del año 2013, las cuales se presentan con una línea amarilla en los diferentes gráficos que se presentan a continuación.

2.4 Medidas de mitigación del sector minería

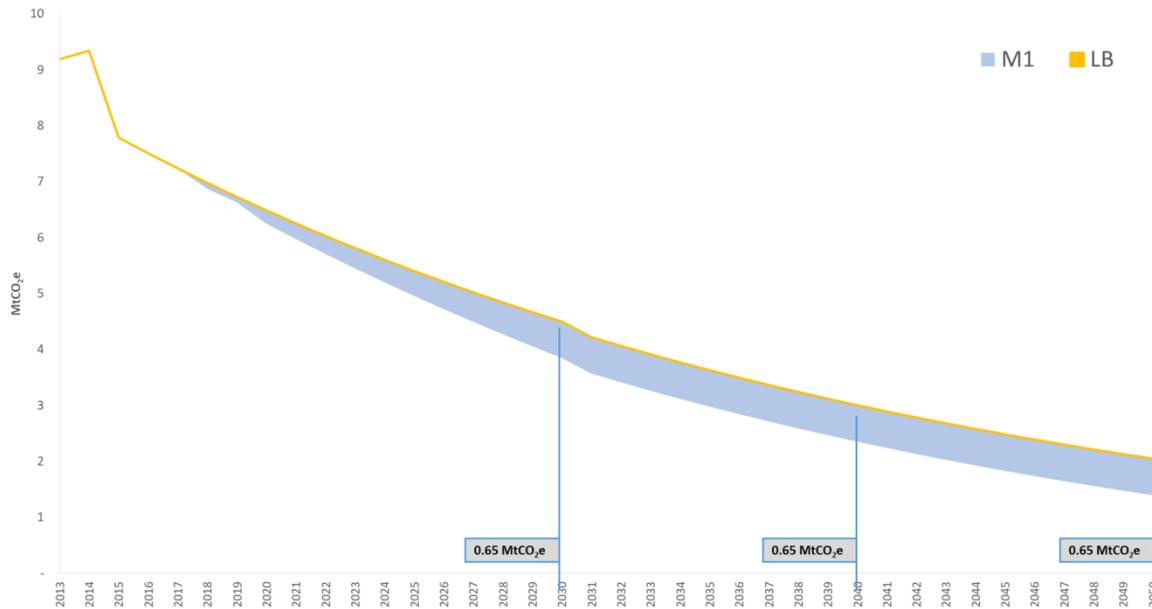
Medidas cuantitativas

- M1. Aprovechamiento de gas metano de minas subterráneas para generación de electricidad

Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e	
		2030	2050
Cuantitativas	M1. Por destrucción de gas metano	0.80	1.13
	M1. Por aprovechamiento para generación de electricidad	4.30	17.00
Total general		5.10	18.13

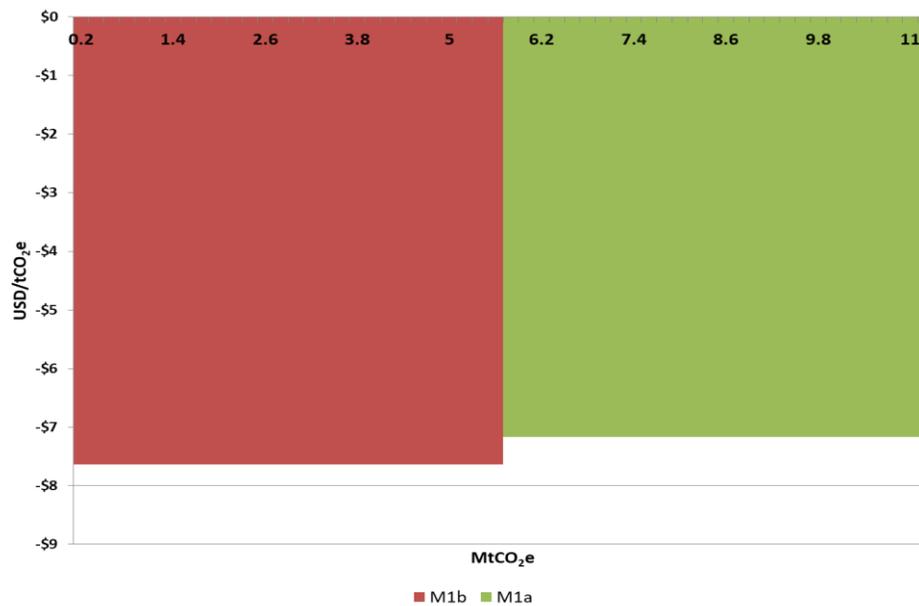
Para esta medida se han analizado los costos de dos escenarios: a) Aprovechamiento de metano para generación eléctrica autoconsumo y b) Aprovechamiento de metano para generación eléctrica autoconsumo y venta de excedentes.

Figura 11. Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Minería



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Minería



Fuente: Elaboración propia.

2.4.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector minería

Con la expedición de la Ley de Hidrocarburos en 2014 se reformó también la Ley Minera y se abrogó el Reglamento de la Ley Minera en materia de Gas Asociado a los Yacimientos de Carbón Mineral. A partir de ese momento las Secretarías de Economía y Energía deberían elaborar reglas para que las actividades mineras vigentes a la entrada en vigor de la reforma mencionada coexistan con las actividades de exploración y extracción de petróleo y demás hidrocarburos.

De acuerdo a la reforma, las autoridades competentes expedirían dentro de los 90 días siguientes a la entrada en vigor de la misma, las disposiciones relativas a la recuperación y aprovechamiento de parte de los concesionarios, la información geológica relacionada con la recuperación y aprovechamiento de gas asociado a los yacimientos de carbón mineral y la metodología relacionada con la contraprestación por el servicio de entrega a Petróleos Mexicanos del gas asociado a los yacimientos de carbón mineral que se realice al amparo de una concesión minera.

Las entidades privadas deben obtener una concesión de extracción de carbón y luego un permiso para explotar el gas, lo cual puede denegarse, en este sentido, INECC deberá emitir recomendaciones de mejoras de política pública para hacer más eficiente el proceso de asignación de concesiones para extraer carbón y aprovechar el gas asociado.

La recuperación de metano hecha por el sector privado debe estar asociada a las actividades mineras. Para que las concesionarias recuperen metano de minas subterráneas, un contrato firmado por PEMEX era obligatorio hasta antes de la emisión de la Ley de Hidrocarburos.

En materia de financiamiento faltan incentivos fiscales o presupuestarios otorgados por las instituciones mexicanas. La implementación de este tipo de proyectos es factible siempre que haya un plan de crédito disponible.

Aunque la tecnología para el aprovechamiento de gas metano de minas está disponible, solo una empresa está buscando el equipo adecuado para su implementación, lo anterior probablemente se debe a la carga burocrática que debe cumplirse para la obtención de permisos.

Las concentraciones de gas metano en las minas de Coahuila son altas; sin embargo, hay una falta de información sobre emisiones particulares, cuantificación o manejo de metano en minas subterráneas. Deberá promoverse la realización de estudios para conocer las reservas de carbón en otras regiones del país dado que algunas no han sido exploradas como deberían ser, los datos específicos sobre las reservas de carbón en México son limitados, a excepción de la cuenca de Sabinas.

Uno de los puntos positivos a recalcar en términos del MRV para las medidas de este sector es que la unidad MIMOSA de Minera del Norte ya ha implementado proyectos similares, llevando a cabo

el monitoreo, el seguimiento de las acciones mitigadas así como la validación y auditoría de los reportes correspondientes.

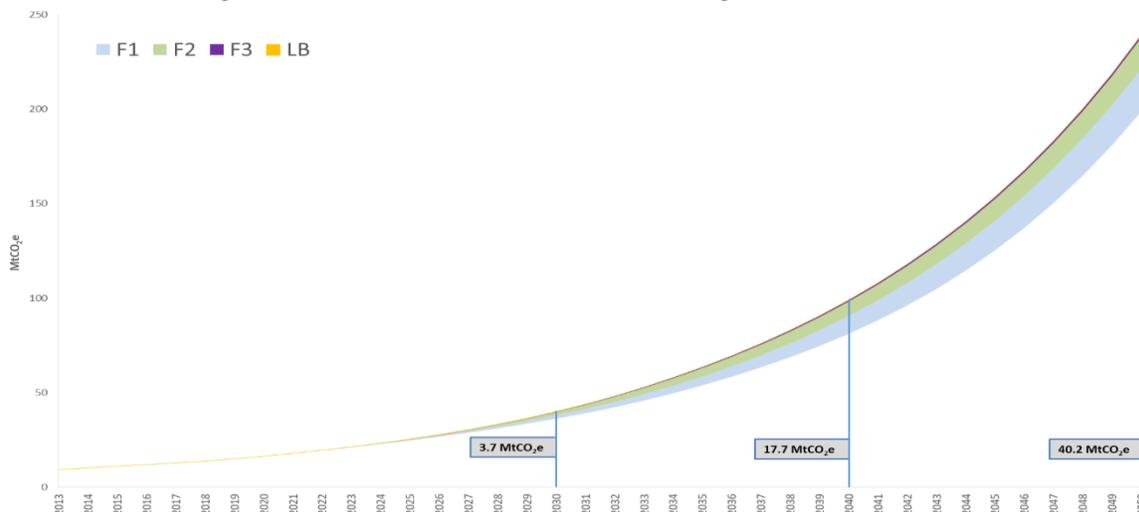
2.5 Medidas de mitigación del sector Gases F

Medidas cuantitativas

- F1. Sustitución de HFC-134a por HFO-1234yf en sistemas de AC móvil nuevos
- F2. Sustitución de HFC-134a por R-290 en equipos autocontenidos de refrigeración comercial nuevos
- F3. Sustitución de HFC-134a por R-600a en refrigeradores domésticos nuevos

Medida		Reducciones acumuladas MtCO ₂ e	
		2030	2050
Cuantitativas	F1 (sólo servicios)	6.31	219.99
	F1 (sólo OEM)	0.17	2.27
	F2	5.23	171.91
	F3	0.83	16.72
Total general		12.54	410.90

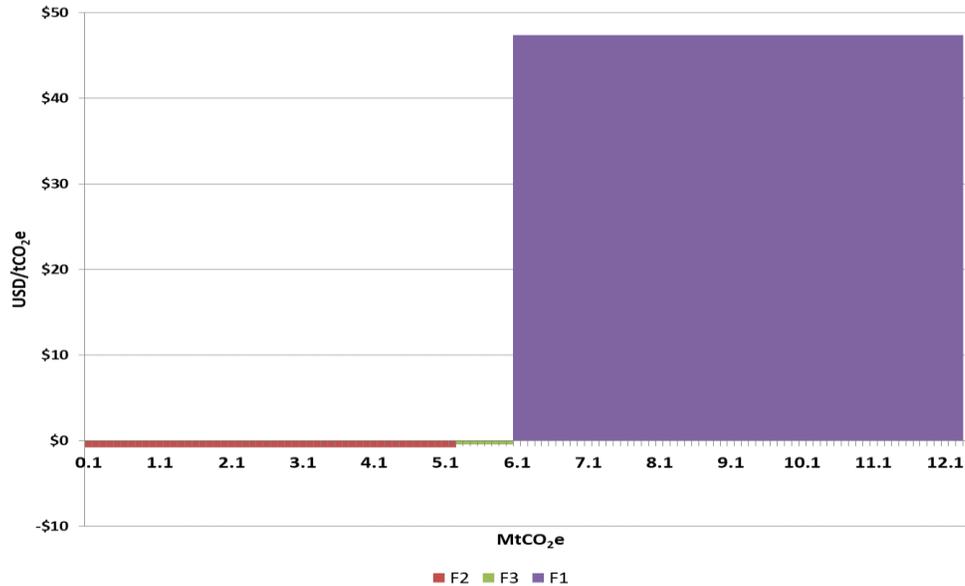
Figura 13. Potencial de abatimiento de la ruta de mitigación del sector Gases F



Fuente: Elaboración propia.

Derivado del análisis de costos de las medidas cuantitativas se ha construido la siguiente curva de costos marginales:

Figura 14. Curva de Costos Marginales de Abatimiento de la ruta de mitigación del sector Gases F



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1 Recomendaciones para la implementación de la ruta del sector Gases-F

Existe una creciente concientización a nivel mundial de que el combate al problema del agotamiento de la capa de ozono por el uso de los CFC y los HCFC que implicó la sustitución de estas SAO por HFC, que no deterioran la capa de ozono pero sí son potentes gases de efecto invernadero, contribuye de manera importante al calentamiento global del planeta.

Por tal motivo, en 2016 se acordó la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal, la cual permitirá reducir gradualmente la producción y el consumo de HFC entre 2024 y 2047 en los países en desarrollo, incluido México. El Protocolo de Montreal ha sido un tratado sumamente exitoso que ahora vuelca la atención a los HFC, en los próximos años será crucial mantener el impulso y la financiación de la fase final de la eliminación de SAO e incorporar la disminución de consumo de los HFC.

A fin de aplicar la reducción progresiva de las cantidades de HFC que pueden comercializarse en el país, la Unidad de Protección a la Capa de Ozono (UPO) deberá asignar cuotas individuales a los distintos importadores y productores (si en su momento los hubiera) para comercializar HFC. La UPO posee experiencia en este rubro pues ha gestionado todo el proceso de eliminación de SAO a

través del uso del Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO), el cual es un instrumento para el registro estadístico, así como una medida para persuadir la importación ilegal de dichas sustancias.

A través del SISSAO se obtiene información actualizada para las entidades involucradas con el comercio de dichas sustancias, para las empresas que las utilizan y para el público en general. Este es un instrumento que puede dar certeza al proceso de MRV de las medidas de mitigación que se plantean en este reporte.

A partir de que se ratifique y entre en vigor la enmienda de Kigali, México deberá incorporar los HFC al sistema de cuotas de manera similar a como hace hasta ahora con las SAO. En este caso sería deseable que los importadores indiquen las categorías de aplicación en que se use la sustancia.

Otro de los pasos importantes será el de establecer condiciones a la comercialización de productos y aparatos específicos que contengan gases fluorados de efecto invernadero o cuyo funcionamiento dependa de ellos.

Además en México deberán establecerse o adaptarse programas de certificación con sus respectivos procesos de evaluación, en particular para los técnicos que lleven a cabo:

- a) instalación, revisión, mantenimiento, reparación o desmontaje de los aparatos del sector RAC
- b) controles de fugas de los aparatos del sector RAC
- c) recuperación de gases fluorados de efecto invernadero

Estos programas de certificación y la formación deberán incluir al menos:

- a) reglamentación y normas técnicas aplicables;
- b) prevención de las emisiones;
- c) recuperación de los gases fluorados de efecto invernadero;
- d) manipulación segura de los aparatos

Asimismo, la implementación de las medidas correspondientes al sector de Gases-F dependerá también de la elaboración o actualización de normas que sean más exigentes en términos de eficiencia energética, principalmente para los equipos del sector RAC, en este sentido, la responsabilidad recaerá sobre Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

2.6 Panorama general y consideraciones sobre las medidas de mayor ambición

Dentro de las medidas analizadas se han identificado aquéllas con el mayor potencial de mitigación:

4. Sustitución de HFC-134a por HFO-1234yf en sistemas de AC móvil nuevos (sólo Servicio)

5. Sustitución de HFC-134a por R-290 en equipos autocontenidos de refrigeración comercial nuevos

Estas dos medidas tienen el potencial de mitigar aproximadamente 11 MtCO₂e acumuladas al 2030 lo que es bastante atractivo en términos de cumplimiento de los objetivos de la NDC que México ha presentado.

Es una meta factible, sin embargo es importante señalar que en ambos casos, aunque la eliminación de HFC reducirá el consumo de manera importante antes del 2030, la reducción equivalente de las emisiones solo se producirá muchos años después. El retraso significativo entre el consumo y la reducción de emisiones puede explicarse por la larga vida útil de los equipos que emiten gases fluorados de alto PCG a lo largo de su vida útil (con una vida útil promedio de 12 a 20 años). La demora entre una disminución en el consumo y la disminución prevista de emisiones se ha denominado "la inercia de la base instalada".

Los refrigerantes con alto PCG se "banquean" de manera efectiva en los equipos existentes y la demora en la reducción de emisiones de acuerdo con la vida útil de ese equipo. La emisión de HFC solo puede comenzar a disminuir después de que el tamaño del banco HFC de alto PCG disminuya. No se esperarían reducciones significativas de emisiones hasta que los equipos existentes que usan HFC de alto PCG se retiren y reemplacen por equipos de bajo PCG, o cuando haya una reducción significativa de fugas o reequipamientos de los sistemas existentes.

Para la mayoría de los subsectores RAC, la vida media de los equipos es de aproximadamente 15 años, lo que indica que después de la implementación de una primera fase de reducción en 2030, pueden pasar otros 15 años antes de que ocurra el efecto total de las consiguientes reducciones de emisiones de HFC.

2.7 Costos a valor presente de las medidas de mayor mitigación

En la siguiente tabla se presenta el resumen de todas las medidas desarrolladas para los cuatro sectores donde se indican los costos a valor presente de los diferentes escenarios contemplados en cada caso, considerando una tasa de cambio de \$18.70 MNX/USD (CEFP, 2017), dichos escenarios fueron descritos detalladamente en el informe final de las rutas tecnológicas.

Para las medidas mitigación del sector minería los costos a valor presente al 2030, relativa al aprovechamiento de gas metano de la mina VII para generar electricidad para autoconsumo es de \$36.5 millones de USD (MUSD) mientras que si pudiera aprovecharse o destruirse metano de minas adicionales el costo de la medida sería de \$38.9 millones de USD (MUSD).

En el caso del sector de Gases-F la mitigación más importante puede derivarse de la sustitución de HFC-134a por HFO-1234yf en aire acondicionado móvil, el costo a valor presente para el año 2030 es de -\$299 MUSD considerando sólo el sector servicios. La segunda medida en importancia sería la sustitución de HFC-134a por R-290 en equipos autocontenidos, con un valor presente neto de \$4 MUSD.

Costo de las medidas expresadas en VPN al 2030 y 2050

Medida	Nombre de la medida	VPN (MUSD)		VPN (Millones de pesos)	
		2030	2050	2030	2050
Sector Minería					
M1a	Aprovechamiento de gas metano de minas subterráneas para generación de electricidad (Aprovechamiento de metano para generación eléctrica autoconsumo)	\$ 36	\$ 72	\$ 683	\$ 1,348
M1b	Aprovechamiento de gas metano de minas subterráneas para generación de electricidad (Aprovechamiento de metano para generación eléctrica autoconsumo y venta de excedentes)	\$ 38	\$ 75	\$ 728	\$ 1,421
Sector Gases-F					
F1	Sustitución de HFC-134a por HFO-1234yf en sistemas de AC móvil nuevos (sólo Servicio)	- \$ 299	- \$ 1,860	- \$ 5,818	- \$ 36,195
F1	Sustitución de HFC-134a por HFO-1234yf en sistemas de AC móvil nuevos (sólo manufactura OEM)	- \$ 397	- \$ 1,745	- \$ 7,725	- \$ 33,957
F2	Sustitución de HFC-134a por R-290 en equipos autocontenidos de refrigeración comercial nuevos	\$ 4	\$ 34	\$ 78	\$ 681
F3	Sustitución de HFC-134a por R-600a en refrigeradores domésticos nuevos	\$ 0.4	\$ 1.5	\$ 7	\$ 29

2.8 Aportación a las contribuciones nacionales determinadas (NDC)

La meta establecida en las NDC presentadas por México para el sector industrial es lograr una reducción de 8.0 MtCO₂e para el año 2030, esta meta se alcanzaría con las emisiones mitigadas por los sectores Cemento, Acero, Cal e Ingenios azucareros. Los sectores de Minería y Gases-F representarían entonces una mitigación adicional potencial para el año 2030 de acuerdo a la siguiente tabla:

Sector	Mitigación 2030 MtCO ₂ e
Minería	0.65
Gases-F	3.72
TOTAL	4.37

De esta manera, la mitigación potencial para el año 2030 de los cuatro sectores iniciales en estudio más los dos de este reporte sería de aproximadamente 12.4 MtCO₂e con lo que México cumpliría con los objetivos establecidos originalmente en la primer NDC.

Glosario

Año base	Es el que se toma como referencia para realizar las estimaciones de un inventario de emisiones.
BaU (<i>Business as Usual</i>)	Forma de referirse al sistema económico y productivo actual; significa que la actividad económica, comercial y financiera sigue su curso sin experimentar mayores cambios.
Cambio Climático	Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.
CO₂ equivalente (CO₂e)	Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.
Contribuciones Nacionalmente Determinadas	Constituyen los esfuerzos de los países que son parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y que proponen realizar para cumplir con el objetivo global de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a un nivel de no aumentar la temperatura del planeta por encima de los 2°C.
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	Tratado internacional que tiene por objeto lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.
Costo Marginal de Abatimiento	El costo de abatimiento se define como los costos adicionales (o beneficios percibidos) de reemplazar una tecnología de referencia (desarrollo común de negocios) por una alternativa de bajas emisiones.
Curvas de Costo Marginal de Abatimiento	Es una gráfica en la que se representa el costo por abatir una unidad de contaminante (eje vertical) y los potenciales totales de mitigación con respecto a una línea base establecida (eje horizontal), de un portafolio de opciones. La curva permite conocer el costo asociado con la última unidad (costo marginal) de emisión abatida, para distintas cantidades de emisiones reducidas.
Esquema MRV	Sistema de Medición Reporte y Verificación cuyo objetivo es apoyar la implementación de medidas de mitigación a través de la generación de indicadores que apoyen la toma de decisiones y que fortalezcan la confianza en el proyecto o programa de mitigación.
Emisiones	La liberación a la atmósfera de GYCEI originados por actividades humanas.

Gases y compuestos efectos invernadero (GyCEI)	Aquellos componentes gaseosos y sólidos (carbono negro) de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja
Hidrofluorocarbonos (HFC)	Compuestos químicos que sólo contienen átomos de hidrógeno, flúor y carbono. Fueron introducidos como alternativas a los hidroclorofluorocarbonos. No agotan la capa de ozono estratosférico, pero muchos de ellos son gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global. Se emplean principalmente en los sectores de refrigeración, aire acondicionado, espumas, solventes, extintores y aerosoles.
Inventario	Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Documento que contiene las estimaciones de las emisiones de GyCEI de acuerdo con metodologías y directrices específicas para cada categoría o sector.
Línea base	Escenario tendencial de las emisiones de GEI de un sistema sin la intervención de un programa o proyecto de mitigación.
Medición	Paso del MRV que consiste en la colección de datos para llevar a cabo el reporte y la verificación.
Mitigación	Aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efectos invernadero.
Monitoreo	Medición de las emisiones de GyCEI, consumo energético, efectos sobre la población, etc., así como los beneficios ambientales, socioeconómicos y los costos que ocurren como resultado de la acción climática.
Perfluorocarbonos (PFC)	Son una familia de compuestos derivado de los hidrocarburos donde los átomos de hidrógeno han sido reemplazados por átomos de flúor. Tienen unos usos y aplicaciones sobre todos en los campos de la electrónica y la industria química. Los PFC poseen unos PCG particularmente elevados, debido a su larga permanencia en la atmósfera.
Potencial de calentamiento global (PCG)	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.
Reporte	Paso del MRV orientado a reportar la información referente a la reducción de emisiones lograda.
Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO)	Sustancias químicas de origen industrial que contienen cloro, bromo o flúor, con potencial para reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera, provocando su rompimiento y destrucción a través de una reacción fotoquímica en cadena. Algunos ejemplos son: clorofluorocarbonos (CFC), tetracloruro de carbono, halones, bromuro de metilo e hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

Valor Presente Neto	<p>Es un indicador financiero utilizado para la evaluación de proyectos, el cual consiste en sumar los ingresos y restar los egresos (inversión y costos de operación) esperados del proyecto, convirtiendo los flujos a unidades monetarias actuales. Dicho indicador permite inferir de manera general la capacidad de cumplimiento de las obligaciones financieras derivadas del proyecto que se esté evaluando.</p>
Verificación	<p>Paso del MRV que confirma que el monitoreo y el reporte esté alineados a los requerimientos del programa evaluado.</p>

Bibliografía

AGGA, 2006. *Coalbed Methane*. [En línea] Available at: <http://www.ga.gov.au/data-pubs/data-and-publications-search/publications/oil-gas-resources-australia/2005/coalbed-methane> [Último acceso: Octubre 2017].

AHMSA, 2011. *Iniciativas Verdes*. [En línea] Available at: <http://www.ahmsa.com/ahmsa-verde/> [Último acceso: 24 Octubre 2017].

AHMSA, 2014. *Informe Anual 2014*, Ciudad de México: s.n.

AHMSA, 2016. *Reporte Anual 2016*, Ciudad de México: s.n.

AMIA, 2017. *Asociación Mexicana de la Industria Automotriz*. [En línea] Available at: <http://www.amia.com.mx/expemp.html>

ANFAD, 2017. *ANFAD*. [En línea] Available at: <http://anfad.org.mx/directorio.php?jcritero=Enseres%20mayores>

ANFAD, 2017. *ANFAD*. [En línea] Available at: <http://anfad.org.mx/directorio.php?jcritero=Aires%20acondicionados>

ANSI-ASHRAE, 2008. *Designation and Safety Classification of Refrigerants*, s.l.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Australian Mining, 2007. *West Cliff powers up*. [En línea] Available at: <https://www.australianmining.com.au/news/west-cliff-powers-up/> [Último acceso: Octubre 2017].

BID, 2013. *México. Estrategia del BID con el País 2013-2018*, s.l.: s.n.

BID, 2014b. *CONDITIONAL CREDIT LINE FOR INVESTMENT PROJECTS (ME-X1021) and FIRST PROGRAM FOR THE FINANCING OF RURAL SECTOR PRODUCTION RESTRUCTURING AND INVESTMENT PROJECTS (ME-L1145). Loan Proposal*, s.l.: s.n.

BID, 2017. *Banco Interamericano de Desarrollo*. [En línea] Available at: <http://www.iadb.org/es/acerca-de-nosotros/acerca-del-banco-interamericano-de-desarrollo,5995.html>

BID, 2017b. *Banco Interamericano de Desarrollo*. [En línea] Available at: <http://www.iadb.org/es/paises/mexico/participacion,1049.html>

BID, 2017c. *ME-M1088 : Aumento Escala Financiamiento para Eficiencia Energética Fines Ecológicos PYME*. [En línea] Available at: <http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page,1303.html?id=ME-M1088>

BID, 2017d. *ME-L1145 : Primer Programa para el Financiamiento de Proyectos de Inversión y Reconversión*. [En línea] Available at: http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page_1303.html?id=ME-L1145

Black, D. & Aziz, N., 2009. *Reducing coal mine GHG emissions through effective gas drainage and Utilisation*. Wollongong, Australia, University of Wollongong.

CAMIMEX, 2016. *Situación de la minería en México en 2015*, Ciudad de México: s.n.

CAMIMEX, 2017. *Informe Anual 2017*, Ciudad de México: s.n.

CANAME-Arteche-CIATT-CCIC, 2013. *Resumen Ejecutivo. Proyecto: "ESTUDIOS DE DIAGNÓSTICO Y PROSPECTIVA, Y DE INTELIGENCIA DEL MERCADO, PARA EQUIPOS DE INTERRUPCIÓN EN MEDIA TENSIÓN ORIENTADOS A LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPACIO EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS"*, s.l.: s.n.

CARRIER, 2017. *Carrier*. [En línea] Available at: <http://www.carrier.com.mx/corporativo/plantas/>

CFE, 2012. *Subestaciones blindadas en gas SF6 de 72.5 kV a 420 kV. Especificación CFE VY200-40*, s.l.: s.n.

CFE, 2013. *Diseño de subestaciones eléctricas de distribución en bajo perfil y encapsuladas en SF6. Manual CFE DCDSEBPE*, s.l.: s.n.

Clarke Energy, 2011. *Glennies Creek Coal Mine Gas Power Station, Australia*. [En línea] Available at: <https://www.clarke-energy.com/2011/glennies-creek-waste-coal-gas-power-station-australia/> [Último acceso: Octubre 2017].

Consol Energy, 2010. *McElroy mine methane emissions abatement project*. [En línea] Available at: http://www.wvcommerce.org/App_Media/assets/doc/energy/Energy_Summits/presentations_2010/RichardWinschel_Consol.pdf [Último acceso: 24 Octubre 2017].

Coté, M., Collings, R., Pilcher, R. & Talkington, C., 2004. *Methane Emissions From Abandoned Coal Mines in the United States: Emission Inventory Methodology and 1990-2002 Emissions Estimates*, s.l.: U.S. EPA.

Dontalaa, S. P., Reddyb, T. B. & Ramesh, V., 2015. Environmental Aspects and Impacts its Mitigation Measures of Corporate Coal Mining. *Procedia Earth and Planetary Science*, Issue 11, pp. 2-7.

El Financiero, 2017. AHMSA busca generar energía eléctrica con gas metano de sus minas. *El Financiero*, 31 Agosto.

Envirogen, 2012. *Teralba Waste Coal Mine Gas Power Station*. [En línea] Available at: <https://web.archive.org/web/20140124024601/http://www.envirogen.net.au/teralba.htm> [Último acceso: Octubre 2017].

EPA-NHTSA, 2012. *Joint Technical Support Document: Final Rulemaking for 2017-2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards*, s.l.: U.S. Environmental Protection Agency and National Highway Traffic Safety Administration.

EU, 2014. *REGULATION (EU) No 517/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006*, s.l.: Official Journal of the European Union.

FIDE, 2012. *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica*. [En línea] Available at: http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=180

FIDE, 2017b. *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica*. [En línea] Available at: http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219

FIDE, 2017d. *¿Qué es el FIDE?*. [En línea] Available at: http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=180

FIDE, 2017. *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica*. [En línea] Available at: http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=645&Itemid=224

Flores, R. M., 2014. *Coal and Coalbed Gas: Fueling the Future*, Washington, D.C: Elsevier.

Fondo para el Cambio Climático, 2017. *Convocatoria Nacional No. 11/17 para Proyectos Operativos de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Listos para Ser Instrumentados*, s.l.: s.n.

Gamlen, P., Lane, B., Midgley, P. & Steed, J., 1986. The production and release to the atmosphere of CFC13 and CF2 Cl2 (chlorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12). *Atmos. Environ.*, Issue 20, pp. 1077-1085.

GIZ, 2014. *Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases (CFC, HCFC and HFC) in Mexico. Final report*, s.l.: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

GMI, 2011. *Metano de las Minas de Carbón: Reducción de las Emisiones, Avance de las Oportunidades de Recuperación y Utilización*, s.l.: s.n.

Hartman, H., Mutmanský, J., Ramani, R. & Wang, Y. ..., 1997. *Mine ventilation and air conditioning*. 3a. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. .

IEA, 2012. *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2012*, s.l.: International Energy Agency.

IEA, 2014. *Resources to reserves 2013, Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*, París, Francia: IEA.

IEA, 2017. *Coal information: Overview*, s.l.: IEA.

IETA, 2017. *MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV) DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)*. s.l.:s.n.

INECC, 2014. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. [En línea]

Available at: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero> [Último acceso: Octubre 2017].

INEGI-AMIA, 2016. *Estadísticas a propósito de la Industria automotriz*, s.l.: Instituto Nacional de Ecología y Geografía.

IPCC, 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Montreal: s.n.

IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Hayama(Kanagawa): IGES.

IPCC-TEAP, 2005. *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System. Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*, s.l.: s.n.

Koch, D., 2003. *SF6 properties, and use in MV and HV switchgear*, s.l.: Schneider Electric.

Little, A. D., 2012. *Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technologies for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection Applications*, Cambridge, Massachusetts: Arcon Park.

Lucon, O. y otros, 2014. Buildings.. En: *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, United Kingdom y New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Lunarzewski, L., 2010. *Coal Mine Goaf Gas Predictor*, Wollongong, Australia: University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

MIMOSA, 2013. *Project: 3751 Mimosa Coal Mine Methane Project - History*. [En línea] Available at: <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1275307657.99/history> [Último acceso: Octubre 2017].

MIMOSA, 2015. *Minerales Monclova, S.A. de C.V. Coal Mine Methane Project*, s.l.: UNFCC.

MLF, 2017. *Secretaría del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal*. [En línea] Available at: <http://www.multilateralfund.org/default.aspx>

NAFIN, 2014. *PROGRAMA Institucional de Nacional Financiera, Sociedad Nacional de Crédito, Institución de Banca de Desarrollo*, s.l.: Diario Oficial de la Federación.

NAFIN, 2017. *Nacional Financiera*. [En línea] Available at: <http://www.nafin.com/portalnf/content/productos-y-servicios/programas-empresariales/proyectos-sustentables.html>

NAMA Facility, 2016. *Introduction to the NAMA Facility*, s.l.: s.n.

NAMA Facility, 2017b. *Mexico – Energy Efficiency in SMEs as a Contribution to a Low Carbon Economy*. [En línea] Available at: <http://www.nama-facility.org/projects/energy-efficiency-in-smes-as-a-contribution-to-a-low-carbon-economy/>

New World Resources, 2016. *Development projects*. [En línea] Available at: <http://www.newworldresources.eu/en/operations/development-projects/debiensko> [Último acceso: 24 Octubre 2017].

ProMéxico, 2014. *Industria Electrónica*, Ciudad de México: Secretaría de Economía.

Proméxico, 2016. *Electrodomésticos. Diagnóstico Sectorial*, s.l.: Unidad de Inteligencia de Negocios. PROMÉXICO.

ProMéxico, 2016. *La industria automotriz Mexicana: Situación actual, retos y oportunidades*, Ciudad de México: Secretaría de Economía.

ProMéxico, 2017. *Sector Electrónico en México*. [En línea].

Purohit, P. & Hoglund-Isaksson, L., 2017. Global emissions of fluorinated greenhouse gases 2005-2050 with abatement potentials and costs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Volumen 17, pp. 2795-2816.

SCT, 2012. *Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas*. [En línea] Available at: <http://www.puertolazarocardenas.com.mx/plc25/noticias/836-2017-terminal-carbon> [Último acceso: Octubre 2017].

SE, 2016. *Perfil de mercado de carbón*, Ciudad de México: Coordinación General de Minería.

SECOP, 2017. *Hydrocarbons – Isobutane (R600a) and Propane (R290)*. [En línea] Available at: <https://www.secop.com/solutions/natural-refrigerants/>

SEMARNAT, 2015. *Reglas de Operación del Fideicomiso Fondo para el Cambio Climático*, s.l.: s.n.

SEMARNAT, 2017. *Red de Centros de Recuperación, Acopio y Reciclado de Refrigerantes*. [En línea] available at: <http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/RedNacionalCentrosRecicladoRefrigerantes1.pdf>

SEMARNAT, 2017. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Documentos*. [En línea] Available at: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/fideicomiso-fondo-para-el-cambio-climatico>

SEMARNAT-INECC, 2012. *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Ciudad de México: Grupo Communicare, S.C.

SEMARNAT-INECC, 2012. *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, s.l.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

SEMARNAT-UNIDO, 2017. *Mexico 2015 HFCs Emissions Inventory and Projection Scenarios towards 2030*, Ciudad de México: s.n.

SENER, 2017. *Informe Uno del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de Energía*, s.l.: s.n.

SE-SGM, 2016. *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada*, Ciudad de México: s.n.

SE-SGM, 2016a. *Panorama minero del Estado de Coahuila*, Ciudad de México: SE.

Singh, G., 2008. *Mitigating environmental and social impacts of coal mining in India*, Nueva Delhi: s.n.

Sociedad Hipotecaria Federal, s.f. *Proyecto NAMA Facility, Implementación de la NAMA de Vivienda Nueva en México. Componente de Cooperación Financiera*, s.l.: s.n.

Somers, J., Burklin, C., McClutchey, S. & Coté, M., 2013. *Coal Mine Methane Developments in the United States*, Washington, D.C.: U.S. EPA.

TEEIC, s.f. Energy Resources. *Tribal Energy and Environmental Information* .

Terrapass, 2016. *Mine Methane Capture*, s.l.: Terrapass.

U.S. EPA Coalbed Methane, 2015. *Energy Markets in China and the Outlook for CMM Project Development in Anhui, Chongqing, Henan, Inner Mongolia, and Guizhou Provinces* , s.l.: GMI.

U.S. EPA, 1998. *Technical Assessment Report: Mitigation of Methane Emissions from Coal Mine ventilation Air*, North Carolina: s.n.

U.S. EPA, 2008. *Identifying Opportunities for Methane Recovery at U.S. Coal Mines: Profiles of Selected Gassy Underground Coal Mines 2002-2006*, s.l.: U.S. EPA Coalbed Methane Outreach Program.

U.S. EPA, 2010. *Fact Sheet for Additional Sources of Fluorinated Greenhouse Gases: Subparts I, L, DD, QQ, SS*, s.l.: s.n.

U.S. EPA, 2012. *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases: 1990–2030*, Washington, D.C.: s.n.

U.S. EPA, 2012. *Summary Report: Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990 - 2030*, s.l.: Office of Atmospheric Programs. Climate Change Division.

U.S. EPA, 2013. *Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases: 2010-2030*, Washington, DC: Office of Atmospheric Programs.

U.S. EPA, 2014. *Coal Mine Methane Recovery at Active and Abandoned U.S. Coal Mines: Current Projects and Potential Opportunities*, s.l.: U.S. EPA.

U.S. EPA, 2016. *User's Manual for Coal Mine Methane Project Cash Flow Model (Version 3)*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-07/documents/cmop-cmm-cash-flow-model-user-manual-2016.pdf> [Último acceso: 15 Noviembre 2017].

U.S. EPA, 2017a. *Overview of Greenhouse Gases*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

U.S. EPA, 2017b. *EPA*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/recent-international-developments-under-montreal-protocol>

U.S. EPA, 2017c. *Electric Power Systems Partnership*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/f-gas-partnership-programs/electric-power-systems-partnership>

U.S. EPA, 2017d. *Overview of SNAP*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/snap/overview-snap>

U.S. EPA, 2017e. *Substitutes in Stand-alone Equipment*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/snap/substitutes-stand-alone-equipment>

U.S. EPA, 2017. *Refrigerant Transition & Environmental Impacts*. [En línea] Available at: <https://www.epa.gov/mvac/refrigerant-transition-environmental-impacts> [Último acceso: Diciembre 2017].

UNEP/TEAP, 2012. *Decision XXIII/9 Task Force Report, Additional Information on Alternatives to Ozone-Depleting Substances*, s.l.: UNEP Technology and Economic Assessment Panel.

UNEP, 2011. *UNEP/OzL.Pro/ExCom/64/29*, s.l.: s.n.

UNEP, 2015. *HCFC phase-out management plan*, s.l.: s.n.

UNEP, 2016. *PROJECT PROPOSALS: MEXICO UNEP/OzL.ProExCom/77/55*, Montreal: s.n.

UNEP, 2016. *Report of the Twenty-Eighth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, s.l.: United Nations Environment Programme.

UNEP, 2017. *Available information on HFC consumption and production in article 5 countries*, s.l.: s.n.

UNEP, 2017. *Frequently asked questions to the Kigali Amendment to the Montreal Protocol*, s.l.: United Nations Environment Programme.

UNEP-TEAP, 2017. *Report of the Technology and Economic Assessment Panel. Volume 1 Progress Report*, s.l.: UNEP Technology and Economic Assessment Panel.

Unidad de Planeamiento Minero Energético, 2016. *Estrategias para el aprovechamiento del gas metano asociado a los mantos de carbón en explotaciones bajo tierra*, Bogotá, Colombia: s.n.

UNIDO, 2017. *Demonstration Project for Disposal of Unwanted ODS in Mexico*, s.l.: United Nations Industrial Development Organization and the Government of France.

UNIDO, 2017. *Survey on Alternatives to ODS in Mexico*, s.l.: United Nations Industrial Development Organization.

Unilever, 2008. *Unilever Ice Cream Cabinets: Conversion to Natural Refrigerants*, s.l.: s.n.

UPME, 2012. *La cadena de carbón*, Bogotá, Colombia: DÍgitos y Diseños.

Velders, G. J. y otros, 2015. Future atmospheric abundances and climate forcings from scenarios of global and regional hydrofluorocarbon (HFC) emissions. *Atmospheric Environment*, 123(Part A), pp. 200-209.

Velders, G. J. M. y otros, 2009. The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106(27), pp. 10949-10954.

Victor, D. y otros, 2014. Introductory Chapter. En: *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Wartmann, S. & Harnisch, J., 2005. *Reductions of SF6 emissions from high and medium voltage electrical equipment in Europe*, Nürnberg, Alemania: Ecofys.

World Coal Association, 2017a. *Coal mining*. [En línea] Available at: <https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining> [Último acceso: Septiembre 2017].

World Coal Association, 2017b. *Mining safety*. [En línea] Available at: <https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining/mining-safety> [Último acceso: Octubre 2017].

World Coal Association, 2017c. *Coal mining & the environment*. [En línea] Available at: <https://www.worldcoal.org/environmental-protection/coal-mining-environment> [Último acceso: Octubre 2017].

World Coal Association, 2017. *Where is coal found?*. [En línea] Available at: <https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining> [Último acceso: Septiembre 2017].

WRI, 2015. *CAIT Climate Data Explorer*. [En línea] Available at: <http://cait.wri.org>

WSC, 2013. *JOINT STATEMENT OF THE 17th MEETING OF THE WORLD SEMICONDUCTOR COUNCIL (WSC)*, Lisbon, Portugal: World Semiconductor Council.

WSC, 2017. *World Semiconductor Council*. [En línea] Available at: <http://www.semiconductorcouncil.org/about-wsc/>

Xu, X., Radermacher, R. & Pham, H. M., 2012. *Performance Measurement of R32 Vapor Injection Heat Pump System*. s.l., International Refrigeration and Air Conditioning Conference.

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

