

Rutas de instrumentación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) del sector Aguas Residuales de México

Informe Final



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 **IDOM Consulting, Engineering, Architecture SAU**, bajo la Coordinación de José Manuel Ramírez García. Contrato RLA-2017-001

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

Citar como:

INECC-PNUD México. 2018. *Rutas de instrumentación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI)* del sector aguas residuales de México. Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", IDOM Consulting Engineering Architecture SAU, 176 pp. México.

Contenido

Acrónimos	13
Resumen ejecutivo	16
Glosario de Términos.....	20
Palabras clave	21
1. Introducción	22
2. Contexto.....	24
2.1. Objetivos de la Ruta Tecnológica y de Instrumentación	25
2.2. Normativa	25
3. Compromisos de mitigación de emisiones recogidos en las NDC de México	27
4. Sector de las aguas residuales	29
4.1. Generación y tratamiento de aguas residuales	29
4.2. Emisión de GEI en el sector de las aguas residuales.....	30
4.3. Análisis de la situación del sector de las aguas residuales en México.....	31
4.4. Proyectos en desarrollo en México relacionados con el sector de las aguas residuales.....	38
5. Serie histórica y línea base (proyección de las emisiones) de las emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México	40
6. Identificación y priorización de medidas de mitigación en el sector de las aguas residuales en México.....	43
7. Ruta Tecnológica y de Instrumentación (RTI) de las medidas de mitigación priorizadas	44
7.1. Medida de mitigación M1: Incrementar la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales.....	45
7.1.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida	45
7.1.2. Escenarios propuestos para la medida	46
7.1.3. Actores responsables de la medida	51
7.1.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente	52
7.1.5. Programas de financiamiento específico.....	54

7.1.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida	60
7.1.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida	61
7.1.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado.....	62
7.1.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida.....	65
7.1.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro	67
7.1.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados).....	67
7.1.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida.....	70
7.1.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV.....	71
7.1.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto	71
7.1.15. Potencial de abatimiento de la medida.....	71
7.1.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida	72
7.1.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida.....	73
7.2. Medida de mitigación M2: Sustitución, en base al caudal de ARM captadas, de los sistemas anaerobios por sistemas aerobios	78
7.2.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida	78
7.2.2. Escenarios propuestos para la medida	78
7.2.3. Actores responsables de la medida	83
7.2.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente	83
7.2.5. Programas de financiamiento específico.....	84
7.2.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida	84
7.2.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida	85
7.2.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado.....	85
7.2.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida.....	88

7.2.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro	90
7.2.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados).....	90
7.2.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida.....	93
7.2.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV	94
7.2.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto	94
7.2.15. Potencial de abatimiento de la medida	95
7.2.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida	95
7.2.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida	96

7.3. Medida de mitigación M3: Captura y aprovechamiento del biogás generado en

PTAR 97

7.3.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida	97
7.3.2. Escenario propuesto para la medida	98
7.3.3. Actores responsables de la medida	99
7.3.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente 100	
7.3.5. Programas de financiamiento específico.....	102
7.3.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida	106
7.3.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida	106
7.3.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado.....	107
7.3.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida.....	109
7.3.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro	110
7.3.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados).....	111
7.3.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida.....	112
7.3.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV	113
7.3.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto	113

7.3.15. Potencial de abatimiento de la medida	114
7.3.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida	115
7.3.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida	116
7.4. Medida de mitigación M4: Aumento del tratamiento de ARI respecto al caudal de aguas captadas	116
7.4.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida	116
7.4.2. Escenario propuesto para la medida	117
7.4.3. Actores responsables de la medida	118
7.4.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente 118	
7.4.5. Programas de financiamiento específico	121
7.4.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida	121
7.4.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida	122
7.4.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado	123
7.4.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida	124
7.4.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro	126
7.4.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados)	127
7.4.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida	129
7.4.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV	130
7.4.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto	131
7.4.15. Potencial de abatimiento de la medida	131
7.4.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida	131
7.4.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida	132
8. Bibliografía	136

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV).....	140
A1.1. Contexto, descripción y metodología.....	140
A1.2. ¿Por qué un sistema MRV?.....	141
A1.3. Metodología y principios.....	142
A1.4. Flujograma del sistema MRV y claves del éxito	142
A1.5. Esquema del sistema MRV	144
A1.6. Monitoreo	145
A1.6.1 Qué se va a medir.....	145
A1.6.2 Cómo, quién y cuándo se va a medir.....	145
A1.7. Reporte	149
A1.7.1 Qué se debe reportar	149
A1.7.2 Quién debe reportar.....	150
A1.7.3 Cuando se debe reportar	152
A1.7.4 Cómo se debe reportar	153
A1.8. Verificación	153
A1.8.1 Qué se debe verificar	153
A1.8.2 Quién debe verificar	153
A1.8.3 Cuando se debe verificar.....	154
A1.8.4 Cómo se debe verificar.....	154
A1.9. Seguimiento y evaluación de los indicadores	154
A1.10 Desviación de resultados.....	156
A1.11 Plan de Acción correctivo	157
Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo.....	159
Anexo III: Valores Objetivo Anuales	172

Índice de Figuras

Figura 1. Balance de la radiación solar incidente absorbida por la tierra y la atmósfera.....	22
Figura 2. Listado cronológico de los acuerdos adoptados en las diferentes Conferencias de las Partes/Conference of the Parties (COP por sus siglas en inglés) de las UNFCCC.	24

Figura 3. Metas no condicionadas de reducción de las emisiones de GEI según los diferentes sectores nacionales para el año 2030 en México.	27
Figura 4. Diagrama de metas de mitigación de emisiones de GEI en México para el año 2030.	28
Figura 5. Esquema de los procesos realizados en una PTAR.	30
Figura 6. Esquema de la generación de emisiones en función del tipo de tratamiento recibido por las aguas residuales generadas.	31
Figura 7. Repartos de la gestión de las ARM a nivel nacional en el año 2016.	32
Figura 8. Evolución temporal de la cobertura nacional de alcantarillado en México.	33
Figura 9. Evolución temporal de la cobertura de alcantarillado urbano y rural de México.	33
Figura 10. Cobertura de alcantarillado a nivel nacional representado por estados para el año 2015.	34
Figura 11. Evolución temporal del porcentaje de tratamiento de las ARM sobre el total de ARM colectadas en México.	35
Figura 12. Cobertura de tratamiento de ARM a nivel nacional representado por estados para el año 2016.	35
Figura 13. Evolución temporal de las inversiones totales realizadas en México para proyectos relacionados con las aguas residuales en el país.	37
Figura 14. Inversiones realizadas a nivel nacional en el año 2016 según el origen de los recursos.	38
Figura 15. Evolución temporal de las emisiones de ARM tratadas y no tratadas en las unidades de Gg CO ₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).	40
Figura 16. Evolución temporal de las emisiones de ARI tratadas y no tratadas en las unidades de Gg CO ₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).	42
Figura 17. Evolución temporal de las emisiones de ARM y ARI en las unidades de Gg CO ₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).	42
Figura 18. Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) de México junto con la representación de las Entidades Federativas.	47
Figura 19. Evolución de las emisiones de CO ₂ eq de las ARM en el periodo histórico y proyección (1990 – 2050) comparando la línea base (BaU) con las emisiones tras la implementación de los escenarios sobre la cobertura de tratamiento potencial de la M1.	49
Figura 20. Evolución de las emisiones de CO ₂ eq de las ARM en el periodo histórico y proyección (1990 – 2050) comparando la línea base (BaU) con las emisiones tras la implementación de los escenarios sobre la cobertura de tratamiento establecida por CONAGUA de la M1.	51
Figura 21. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico.	68
Figura 22. Ecuaciones para la obtención de la inversión necesaria en infraestructuras para el tratamiento de las ARM en diferentes sistemas de tratamiento	74
Figura 23. Nómina anual para plantas de tratamiento de aguas residuales.	75

Figura 24. Gráfica para la obtención del consumo de energía requerido en base al caudal tratado y la cantidad de DBO de las aguas residuales.	76
Figura 25. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M1	77
Figura 26. Evolución de las emisiones de GEI del escenario potencial de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.	81
Figura 27. Evolución de las emisiones de GEI del escenario conservador de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.	82
Figura 28. Evolución de las emisiones de GEI de los dos escenarios propuestos en la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.	82
Figura 29. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico	91
Figura 30. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M2	97
Figura 31. Evolución de las emisiones de GEI de los procesos propuestos en la medida de mitigación M3. .	99
Figura 32. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico para la medida M3.	111
Figura 33. Evolución de las emisiones de GEI derivadas del depósito de lodos en rellenos sanitarios frente a las generadas por el tratamiento y posterior uso de dichos lodos.	114
Figura 34. Evolución de las emisiones de GEI de los procesos propuestos en la medida de mitigación M4.	117
Figura 35. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico.	127
Figura 36. Evolución del caudal de ARI no tratadas propuesto para la medida de mitigación M4 respecto a la tendencia del caudal representado en el escenario BaU.	130
Figura 37. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M4	133
Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación	135
Figura 39. Sistema MRV.....	140
Figura 40. Elementos del MRV	141
Figura 41. Flujograma del sistema MRV	143
Figura 42. Esquema general MRV.....	144
Figura 43. Pasos para la definición del MRV	146
Figura 44. Tipos de indicadores	147
Figura 45. Modelo ficha indicador.....	148
Figura 46. Esquema de responsabilidad del reporte MRV	151
Figura 47. Esquema de actores por niveles de reporte MRV	152
Figura 48. Proceso de implementación del Plan de Acción correctivo	157
Figura 49. Ficha indicador M1.1	160

Figura 50. Esquema monitoreo indicador M1.1	161
Figura 51. Ficha indicador M2.1	162
Figura 52. Esquema monitoreo indicador M2.1	163
Figura 53. Ficha indicador M2.2	164
Figura 54. Esquema monitoreo indicador M2.2	165
Figura 55. Ficha indicador M3.1	166
Figura 56. Esquema monitoreo indicador M3.1	167
Figura 57. Ficha indicador M3.2	168
Figura 58. Esquema monitoreo indicador M3.2	168
Figura 59. Ficha indicador M4.1	170
Figura 60. Esquema monitoreo indicador M4.1	170

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de las PTAR de ARM en México con cogeneración. Fuente: CONAGUA, 2017, Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento.	36
Tabla 2. Recopilación de los proyectos relacionados con el sector de las aguas residuales en México recogidos de la Agenda del Agua 2030. Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2014 – 2018.	39
Tabla 3. Medidas de mitigación identificadas en el desarrollo del trabajo. Fuente: elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave identificados.	43
Tabla 4. Acciones específicas de las medidas de mitigación propuestas en la ruta tecnológica y de instrumentación. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 5. Resumen de escenarios propuestos para la implementación de la medida de mitigación M1.	46
Tabla 6. Metas nacionales recogidas de la Agenda del Agua 2030 por cobertura de tratamiento de ARM. Fuente: Elaboración propia en base a las metas de los programas regionales de la AA2030.	48
Tabla 7. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida	61
Tabla 8. Identificación de posibles barreras en la implementación de la medida	62
Tabla 9. Identificación de posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida	65
Tabla 10. Línea de tiempo para la implementación del escenario potencial de la medida M1.	70
Tabla 11. Línea de tiempo para la implementación del escenario de CONAGUA propuesto para la medida M1.	70

Tabla 12. Potencial de abatimiento de los escenarios potencial y CONAGUA, así como sus sub-escenarios planteados, en la medida de mitigación M1 respecto a las emisiones de GEI proyectadas en el BaU.	72
Tabla 13. Reducción de emisiones de GEI de los escenarios propuestos en la medida de mitigación M1 respecto a las emisiones establecidas en el escenario BaU.	72
Tabla 14. Relación entre los sistemas de tratamiento identificados por el IMTA en su documento para la aplicación de los costos de PTARs respecto a los sistemas identificados en el inventario nacional.	74
Tabla 15. Resumen de escenarios propuestos para la implementación de la medida de mitigación M2.	79
Tabla 16. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida	85
Tabla 17. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida	86
Tabla 18. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida	89
Tabla 19. Evolución de los grados de utilización de los tratamientos de ARM mediante lodos activados y humedales respecto al total de ARM tratadas del BaU y los escenarios potencial y conservador de la medida M2.	93
Tabla 20. Potencial de abatimiento de los escenarios potencial y conservador de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones de GEI proyectadas en el BaU.	95
Tabla 21. Reducción de emisiones de GEI de los escenarios propuestos en la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones establecidas en el escenario BaU.	95
Tabla 22. Resumen del escenario propuesto para la implementación de la medida de mitigación M3.....	98
Tabla 23. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida	106
Tabla 24. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida de mitigación M3. ...	107
Tabla 25. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida	109
Tabla 26. Potencial de abatimiento de la medida de mitigación M3.	114
Tabla 27. Reducción de emisiones de GEI del escenario potencial máximo de la medida de mitigación M3.	115
Tabla 28. Resumen del escenario propuesto para la implementación de la medida de mitigación M3.....	117
Tabla 29. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida	122
Tabla 30. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida de mitigación M2. ...	123
Tabla 31. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida	124
Tabla 32. Línea de implementación de los porcentajes de ARI no captadas que deben lograrse a 2050.....	129
Tabla 33. Reducción de emisiones del BaU relativo a las ARI tras la implementación de la medida de mitigación M4.	131
Tabla 34. Reducción de emisiones de GEI del escenario potencial máximo de la medida de mitigación M4.	131

Tabla 35. Relación entre los sistemas de tratamiento del documento del IMTA y los tratamientos identificados	132
Tabla 36. Emisiones de GEI de la línea base (BaU) del sector de las aguas residuales.....	134
Tabla 37. Reducción de las emisiones GEI, respecto al escenario BaU, derivadas de la implementación de cada una de las medidas de mitigación propuestas en esta consultoría.....	134
Tabla 38. Porcentaje de reducción de las medidas de mitigación respecto a las emisiones de GEI del BaU en el sector de las aguas residuales.	134
Tabla 39. Lista de verificación de los requisitos de contabilidad	146
Tabla 40. Indicadores para las medidas priorizadas	147
Tabla 41. Actores del MRV y roles asignados	151
Tabla 42. Objetivos cuantitativos de las medidas priorizadas.....	155
Tabla 43. Seguimiento y evaluación de los indicadores respecto a escenarios de mitigación propuestos ..	156
Tabla 44. Cuadro de mando de indicadores	159
Tabla 45. Valores Objetivo Anuales Indicador M1.1	172
Tabla 46. Valores Objetivo Anuales Indicador M2.1	173
Tabla 47. Valores Objetivo Anuales Indicador M2.2	173
Tabla 48. Valores Objetivo Anuales Indicador M4.1	174

Acrónimos

ACRÓNIMO	DENOMINACIÓN COMPLETA
AA2030	Agenda del Agua 2030
AECID	Banca Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
ANEAS	Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento
ARI	Aguas Residuales Industriales
ARM	Aguas Residuales Municipales
BANCOMEX	Banco de México
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BANSEFI	Banco del Ahorro Nacional y Servicios Financieros
BAU	Business as Usual
BDAN	Banco de Desarrollo de América del Norte
BEI	Banco Europeo de Inversiones
BEIF	Fondo de Infraestructura Ambiental Fronterizada
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BUR	Informes Bienales de Actualización / Biennial Uptade Reports
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CEAS	Comisiones Estatales del Agua y el Saneamiento de México
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CGMCC	Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático
CMDS	Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible
CN	Comunicación Nacional
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COP	Conference of the Parties / Conferencia de las Partes
DOF	Diario Oficial de la Federación

ENCC 10 - 20 - 40	Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 - 20 - 40
ENRES	Programa de Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos
FAIS	Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social
FCAS	Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
FOTEASE	Fondos para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía Creados por el LTE
GCF	Green Climate Fund
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environmental Facility)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG	Greenhouse Gases
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable
GYCEI	Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IFAS	Integrated Fixed Activated Sludge
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPI	Índice de Producción Industrial
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Banco de Japón
KFW	Banco de Desarrollo Alemán
LIF	Ley de Ingresos de la Federación
MRV	Medición, Reporte y Verificación
NAMA	Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada / Nationally Appropriate Mitigation Actions
NAPA	Programas Nacionales de Adaptación
NDC	Nationally Determined Contributions / Contribuciones Nacionalmente Determinadas
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio

OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PECC 2014 - 2018	Programa Especial de Cambio Climático
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PHR	Programa Hídrico Regional
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PNH	Programa Nacional Hídrico
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROAGUA	Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente de México
PROMAGUA	Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua
PROMARNAT	Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PROSAN	Programa de Tratamiento de Aguas Residuales
PROSANEAR	Programa de Saneamiento de Aguas Residuales
PROSSAPYS	Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RHA	Regiones Hidrológico-Administrativas
RME	Residuos de Manejo Especial
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RTI	Ruta Tecnológica y de Instrumentación
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
UNFCCC O CMNUCC	United Nations Framework Convention on Climate Change / Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
WB	World Bank / Banco Mundial
WSTF	Water and Sanitation Trust Fund

Resumen ejecutivo

En México, el agua ha sido reconocida como un asunto estratégico y de seguridad nacional, y se ha convertido en elemento central de las actuales políticas ambientales y económicas, así como un factor clave del desarrollo social. Lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país recuperen su salud, aporten caudales para satisfacer las necesidades de la población y contribuyan al crecimiento económico y calidad de vida de la población; requiere que se mantengan limpios, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas que los contaminen y afecten más allá de su capacidad natural de asimilación y dilución.

Según el artículo 44 de la Ley de Aguas Nacionales (última modificación el 24-03-2016), en México, son los municipios los responsables del servicio de agua potable, así como los servicios de drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales

Al 2015, la cobertura nacional de acceso al servicio de alcantarillado era de 92.8% (97.4% urbana, 77.5% rural), en tanto que la cobertura nacional de alcantarillado a red pública o fosa séptica era de 91.4% (96.6% urbana, 74.2% rural)¹. En lo que respecta a las aguas residuales municipales, al 2015 se contabilizaron un total de 2,477 plantas en operación en el país, que trataron un caudal de 120.9 m³/s, lo que supone un 57% de las aguas residuales totales recolectadas a través de sistemas de alcantarillado (212 m³/s). En lo que respecta a las aguas residuales industriales, en 2015 se contabilizaron un total de 2,832 PTAR encargadas del tratamiento de 70.5 m³/s (2015)².

Estas aguas residuales, tanto las domésticas como las industriales, pueden ser una fuente de metano (CH₄) cuando se las trata en medio anaeróbico, así como fuente de emisiones de óxido nitroso (N₂O). Esto determina que este sector, el de las aguas residuales, sea considerado como una posible fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un país y, por tanto, un sector con posibilidades de actuación para mitigar el impacto de estas emisiones en el calentamiento global.

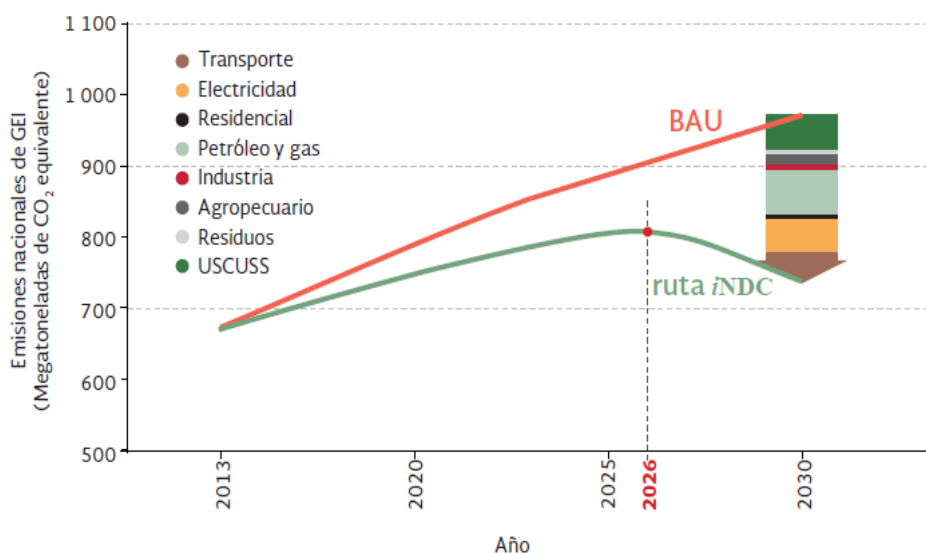
El Acuerdo de París recoge, en el párrafo 2 de su artículo 4, la necesidad de que los países que hayan ratificado el acuerdo (como es el caso de México, que firmó el acuerdo el 22 de abril de 2016 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016), propongan objetivos nacionales para la reducción de emisiones del país. Estos objetivos son denominados NDC (Nationally Determined Contributions, por sus siglas en inglés), donde se recogen los compromisos de cada país para la reducción de sus emisiones nacionales de GEI. A través de esta NDC, México se ha comprometido de forma no condicionada a llevar a cabo acciones de mitigación para poder reducir las emisiones de GEI un 22% al año 2030. Según estos objetivos, para el sector de los residuos estas emisiones podrían reducirse

¹ según los datos extraídos del documento de Estadísticas del Agua en México (2016)

² Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Gobierno de la República de México y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, *Estadísticas del Agua en México, Edición 2016*. Disponible en el siguiente enlace web: http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf

en un 28.6%. Las aguas residuales se encuentran dentro del sector “Residuos”, donde también están las emisiones procedentes del tratamiento de los residuos sólidos.

Emisiones nacionales de GEI según el escenario tendencial (BAU) y las metas de reducción INDC comprometidas de manera no condicionada, 2013-2030.



Fuente: Gobierno de la República de México, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030. Página 10 de 20.

Para lograr los objetivos nacionales fijados para la reducción de emisiones nacionales, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) dentro del marco del Proyecto PNUD-INECC para la elaboración de la Sexta Comunicación Nacional de México, ha elaborado rutas tecnológicas y de instrumentación para diferentes sectores según la clasificación establecida en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI de México.

El objetivo principal de las rutas tecnológicas y de instrumentación consiste en identificar medidas de mitigación dentro del sector a estudio para analizarlas y establecer el grado de reducción de emisiones de GEI esperable por la implementación de las mismas, con el fin de alcanzar los compromisos de reducción de emisiones de GEI a los que México se ha comprometido a través de su NDC.

En relación a este objetivo principal, a través de este proyecto se ha trabajado sobre el sector de las aguas residuales, donde estas medidas de mitigación han sido identificadas, consultadas, valoradas y estudiadas con los actores clave responsables del sector de las aguas residuales y las emisiones de GEI, con el fin de analizar su grado actual de desarrollo y proponer acciones viables para su total implementación a nivel nacional, a través de dichas rutas tecnológicas y de instrumentación.

La metodología de trabajo establecida para alcanzar los objetivos fijados ha consistido en las siguientes etapas. Una primera fase dedicada a la recopilación de información y análisis de la

situación actual del sector de las aguas residuales en México. Posteriormente, se pasó a una etapa cuyo objetivo fue el desarrollo de una base de datos (Excel) que permite replicar las estimaciones de las emisiones GEI generadas por este sector para el periodo 1990-2015. Esto se llevó a cabo en continua y estrecha colaboración con el equipo del Inventario Nacional de Emisiones del INECC para lograr unos resultados en total consonancia con el Inventario Nacional. A continuación, como parte de esta misma base de datos, se procedió al cálculo de la proyección de las emisiones GEI a 2050, es decir, se ha elaborado un escenario BaU para el periodo 2016-2050, en base a los principios metodológicos actuales del Inventario Nacional de Emisiones.

Al mismo tiempo que se desarrollaban los cálculos de este escenario BaU, se llevó a cabo la identificación y priorización de las medidas de mitigación, que serían analizadas en detalle a posteriori para elaborar sus rutas tecnológicas y de instrumentación. Esta toma de decisiones se llevó a cabo en un taller de socialización llevado a cabo con los principales actores clave del país en este campo, obteniéndose la siguiente priorización:

Medidas de mitigación priorizadas en el desarrollo del trabajo

No.	Nombre de la medida
M1	Incremento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales.
M2	Sustitución, en base al caudal captado, de los sistemas anaerobios por sistemas aerobios
M3	Captura y aprovechamiento del biogás generado en PTAR y tratamiento alternativo lodos generados
M4	Incremento de las ARI tratadas respecto a las ARI captadas.

Una vez priorizadas las medidas, se pasó a establecer diferentes escenarios para cada una de ellas, llevando a cabo la estimación de las emisiones correspondientes a cada uno de esos escenarios para poder determinar el potencial de reducción de emisiones respecto al escenario BaU. Para fijar las características de estos escenarios, conseguir la mejor información disponible, y presentar los resultados obtenidos en la base de datos, se realizó un segundo taller de socialización con los actores clave.

En base a este segundo taller, se comenzó también a desarrollar el documento de la ruta tecnológica y de instrumentación, el cual contiene de manera detallada toda la información necesaria para la implementación de cada una de las medidas de mitigación priorizadas: alineación con políticas; fuentes de financiamiento; co-beneficios; riesgos y barreras; instrumentos para la implementación; opciones tecnológicas; modelo de implementación; Sistema MRV; Cumplimiento de NDC; costos marginales de abatimiento, etc.

Una vez determinados los potenciales de reducción de emisiones de cada escenario y las rutas tecnológicas bien avanzadas, se llevó a cabo un tercer y último taller de socialización con los actores

clave. El objetivo era presentar los resultados consolidados obtenidos, y terminar de perfilar el contenido y la información necesaria para las rutas de cada medida.

Tras el análisis realizado, y los resultados obtenidos, se puede llegar a la conclusión de que México cuenta con un notable potencial de reducción de emisiones dentro del sector de las aguas residuales. Sin embargo, se han identificado una serie de riesgos y barreras, también de notable importancia, que el país debe afrontar de la mejor y más eficaz manera para poder alcanzar dichos objetivos de mitigación. Entre los riesgos/barreras identificados más significativos se encuentran: i) el levantamiento de información de base necesario para poder establecer los mecanismos necesarios para una implementación realista y eficaz de la ruta tecnológica propuesta; ii) importantes dificultades para la implementación de algunas medidas en algunas zonas del país debido a su situación económica, por la dificultad tecnológica de implementar las medidas en zonas de difícil acceso, o por las dificultades de carácter geológico que presenta el terreno de determinadas entidades federativas, como puede ser el caso de Yucatán; iii) conseguir involucrar al sector privado/industrial; iv) conseguir impulsar ciertos cambios normativos.

Reducción de emisiones GEI (Gg CO₂eq/año) anuales, respecto al escenario BaU, derivadas de la implementación de cada una de las medidas de mitigación propuestas

Medida	Sector IPCC en el que computa	2020	2025	2030
M1 ³	Sector residuos (aguas residuales)	12.88	61.97	106.59
M2 ⁴		46.99	189.37	348.99
M4		307.63	805.27	1,592.71
Total reducciones (M1+M2+M4)		354.62	994.64	1,941.70
M3	Energía / Residuos sólidos	1,541.31	1,694.55	1,835.61
Total reducciones (M1+M2+M3+M4)		1,895.93	2,689.19	3,777.31

³ Escenario CONAGUA

⁴ Escenario potencial. Incluye las reducciones debidas a M1

Glosario de Términos

Aguas residuales industriales: las aguas residuales industriales son aquellas aguas que proceden de actividades industriales.

Aguas residuales municipales: las aguas residuales municipales son aquellas aguas que proceden de domicilios o comercios.

Cambio climático: se denomina cambio climático a la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

Cobertura: la cobertura se refiere principalmente al tratamiento o alcantarillado. Muestra la extensión que toma dentro de un área a estudio el tratamiento o alcantarillado de las aguas residuales del área en cuestión respecto al total generado.

Comunicación Nacional: las comunicaciones nacionales son mecanismos de reporte en los que se recogen los avances de los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en la implementación de la Convención.

Costos marginales de abatimiento: los costos marginales de abatimiento muestran el costo asociado a la reducción de una unidad de emisiones de CO₂ equivalente por la implementación de una medida de mitigación.

Demanda biológica de oxígeno (DBO): se define como la cantidad de oxígeno a disposición de ser consumido por los microorganismos durante la oxidación de la materia orgánica durante un periodo de tiempo de 5 días.

Demanda química de oxígeno (DQO): se define como la cantidad de oxígeno total necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en el agua.

Disposición final: los lugares de disposición final de residuos sólidos son aquellos lugares en los que se almacenan de forma definitiva los residuos o bien con el fin de destruirlos.

Emisiones de GEI: las emisiones de gases de efecto invernadero consiste en la liberación a la atmósfera de los gases considerados de efecto invernadero, en una zona o periodo de tiempo específico.

Escenario Business as Usual (BaU): el escenario BaU recoge la proyección esperada de las emisiones de GEI considerando que la situación histórica de partida mantuviese la misma tendencia que hasta la fecha.

Gases de Efecto Invernadero: estos gases pueden ser de origen natural o antropogénico que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda, responsables del efecto invernadero.

Masas/cuerpos de agua: las masas o cuerpos de agua son acumulaciones de agua que forman la hidrosfera.

Medidas de mitigación: consiste en acciones concretas encaminadas a reducir las emisiones de GEI a la atmósfera.

Mitigación: consiste en la intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero con el fin de reducir las emisiones.

Potencial de Calentamiento Global: el potencial de calentamiento global es un índice que se basa en las propiedades radiativas de los GEI, que mide el forzamiento radiativo obtenido de los impulsos de emisión en la atmósfera actual, de una unidad de masa de cierto GEI, integrado a lo largo de un plazo de tiempo dado, en comparación con el causado por el CO₂.

Tratamiento aerobio: estos tratamientos consisten en la degradación de la materia orgánica y nutrientes presentes en las aguas residuales mediante microorganismos en presencia de oxígeno.

Tratamiento anaerobio: estos tratamientos consisten en la conversión de la materia orgánica en CH₄ y CO₂ en ausencia de oxígeno mediante la acción de microorganismos.

Vertido: se denomina vertido a la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua.

Zona rural: en México, se considera zona rural todos aquellos municipios que tengan una población inferior a 25,000 habitantes.

Zona urbana: en México, se considera zona urbana todos aquellos municipios que tengan una población superior a 25,000 habitantes.

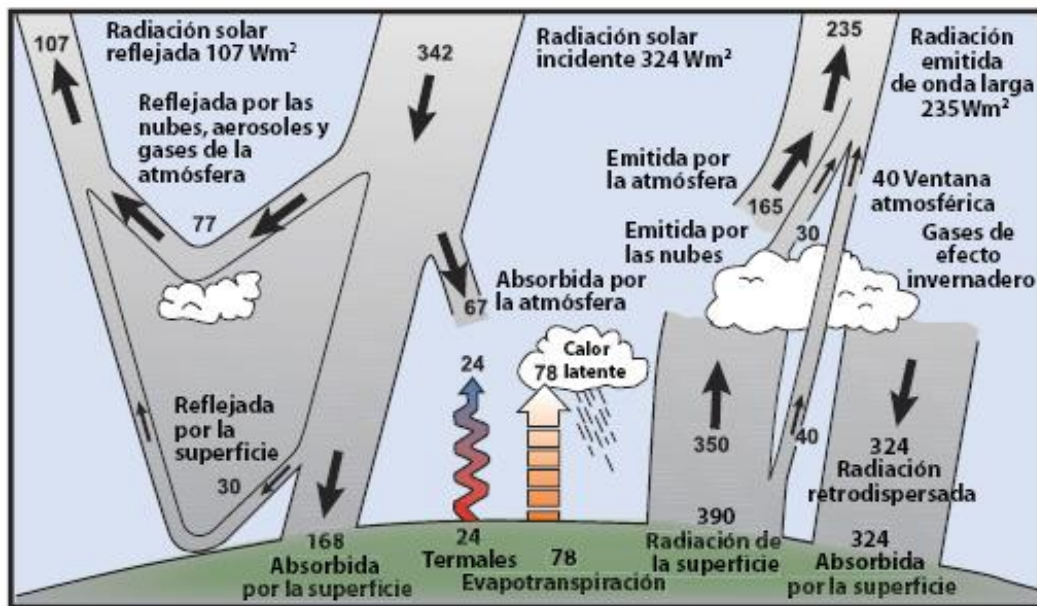
Palabras clave

Aguas residuales; BUR; Cambio climático; Comunicación Nacional; Costos marginales de abatimiento de GEI; Emisiones de GEI; Medidas de mitigación; Mitigación del cambio climático; NDC; Reducción de emisiones de GEI; Sistema MRV; Riesgos y barreras.

1. Introducción

El cambio climático consiste en la variación de los patrones climáticos como consecuencia de acciones antropogénicas, resultando en un aumento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. Estos GEI son emitidos por diversos procesos naturales a la atmósfera y son fundamentales para la vida en la tierra, puesto que reflejan parte de la radiación del sol calentando la tierra. El problema reside en el aumento en la acumulación de estos compuestos GEI en la atmósfera, lo que resulta en un aumento de la temperatura media global de la tierra, junto con otros impactos como la elevación del nivel del mar o el incremento en abundancia de eventos extremos como sequías, tormentas o inundaciones.

Figura 1. Balance de la radiación solar incidente absorbida por la tierra y la atmósfera.



Fuente: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, IPCC. Disponible en el siguiente enlace
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-1.html.

El cambio climático es un problema global que influye en el calentamiento global del planeta a largo plazo y, por ello, es necesario llevar a cabo un doble proceder:

- Reducción de las emisiones de GEI a la atmósfera, lo cual es conocido como **mitigación al cambio climático**: reduciendo las fuentes de emisión de GEI, mejorando los sumideros que acumulan estos gases, etc. El mayor reto de la mitigación consiste en evitar la interferencia humana en el régimen climático.

- **Adaptación al cambio climático:** se basa en la adaptación o ajuste al clima actual y/o futuro reduciendo la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático (incremento del nivel del mar, eventos extremos, etc.)

Las Naciones Unidas, a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático⁵ (CMNUCC o UNFCCC por sus siglas en inglés) creado en 1994, lucha por prevenir los efectos del cambio climático. Actualmente, 197 países han ratificado la Convención lo que implica que son Estados partes (Parties).



Fuente: NASA, Global Climate Change. Vital Signs of the Planet⁶.

El presente documento recoge la Ruta Tecnológica y de Instrumentación (RTI) del proyecto denominado “Consultoría para el apoyo al desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector aguas residuales en México, como insumo para la secta comunicación nacional de cambio climático”, cuyo objetivo y metodología se expondrá a continuación.

⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) <http://unfccc.int/2860.php>

⁶ Disponible en el siguiente enlace: <https://climate.nasa.gov/solutions/adaptation-mitigation/>

2. Contexto

Con el fin de contextualizar el marco en el que se elabora el presente proyecto, es necesario comenzar con una breve recopilación cronológica de los acuerdos adoptados en las Conferencias de las Partes/Conference of the Parties (COP por sus siglas en inglés), tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. Listado cronológico de los acuerdos adoptados en las diferentes Conferencias de las Partes/Conference of the Parties (COP por sus siglas en inglés) de las UNFCCC.



Fuente: Elaboración propia.

Según el Acuerdo de París, adoptado en la COP21⁷ que tuvo lugar del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015 en París, se establecieron ciertos objetivos para mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C y limitar el aumento de la temperatura por debajo de 1.5°C sobre los niveles preindustriales. El acuerdo está liderado por la CMNUCC o UNFCCC y 174 países han ratificado el acuerdo (de los 195 países que componen la Convención). Estos países, se dividen en tres grupos según los compromisos adoptados por los mismos: países incluidos en el Anexo I (países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OECD según sus siglas en inglés, y aquellos con economías en transición), en el Anexo II (países de la OECD, pero no aquellos con economías en transición), y países no incluidos en los anexos (países en vías de desarrollo).

El Acuerdo de París recoge, en el párrafo 2 de su artículo 4, la necesidad de los países que hayan ratificado el acuerdo (como es el caso de México, que firmó el acuerdo el 22 de abril de 2016 y

⁷ La 21ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) y la 11ª sesión de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes al Protocolo de Kyoto (CMP11). Disponible en el siguiente enlace: http://unfccc.int/porta1_espanol/essential_background/acuerdo_de_paris/items/10085.php

entró en vigor el 4 de noviembre de 2016), de proponer unos objetivos nacionales para la reducción de emisiones del país. Estos objetivos son denominados NDC⁸ por sus siglas en inglés (Nationally Determined Contributions o Contribuciones Nacionalmente Determinadas), donde se recogen los compromisos de cada país para la reducción de sus emisiones nacionales de GEI.

Por otra parte, la Convención recoge la necesidad de elaborar informes nacionales por parte de las partes, y estos informes a elaborar dependen del grupo (anexo) en el que se encuentre el país. En el caso particular de México, al pertenecer al grupo de países no Anexo I, deben remitir a la UNFCCC las Comunicaciones Nacionales (CN), los Informes Bienales de Actualización (BUR, según sus siglas en inglés) y los programas nacionales de adaptación (NAPA, según sus siglas en inglés). La CN ofrece información sobre los inventarios de GEI y medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y se elaboran cada 4 años, por otra parte, los BUR deben actualizarse cada 2 años⁹.

2.1. Objetivos de la Ruta Tecnológica y de Instrumentación

Para lograr los objetivos nacionales fijados para la reducción de emisiones nacionales, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), a través de la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático (CGMCC), ha elaborado rutas tecnológicas y de instrumentación para diferentes sectores según la clasificación establecida en el inventario nacional de emisiones de GEI de México.

El objetivo principal de las rutas tecnológicas y de instrumentación consiste en identificar medidas de mitigación dentro del sector a estudio para analizarlas y establecer el grado de reducción de emisiones de GEI esperable por la implementación de las mismas, con el fin de alcanzar los compromisos de reducción de emisiones de GEI a los que México se ha comprometido a través de su NDC. Cada una de esas medidas de mitigación serán estudiadas detalladamente atendiendo a una serie de aspectos necesarios para la comprensión de su implementación.

Estas medidas de mitigación han sido identificadas, consultadas, valoradas y estudiadas con los actores clave responsables del sector de las aguas residuales y las emisiones de GEI, con el fin de analizar su grado actual de implementación y proponer acciones viables para su total implementación a nivel nacional.

2.2. Normativa

México cuenta con una normativa específica sobre cambio climático denominada **Ley General de Cambio Climático del Estado de México**¹⁰, publicada en el DOF de la Federación el 6 de junio de

⁸ Las NDC se pueden consultar en el registro de NDC de la UNFCCC <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/Pages/Home.aspx>

⁹ Ambos documentos nacionales se remiten a las Naciones Unidas y están disponibles en el siguiente enlace: http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/8528.php

¹⁰ Disponible en el siguiente enlace: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex137515.pdf>

2012. Esta ley nacional establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático, teniendo como objetivo garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Por otra parte, regula también las emisiones de GyCEI para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a niveles en los que no ocurran interferencias antropógenas peligrosas, regula las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, intenta reducir la vulnerabilidad de la población y ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, fomenta la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación sobre cambio climático, establece las bases para la concertación con la sociedad, y promueve la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

Por otra parte, se encuentra la **Ley de Aguas Nacionales**¹¹, esta ley tiene como objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Dentro del aspecto a controlar sobre la calidad de las aguas, se encontraría la necesidad de realizar un tratamiento eficiente de las aguas residuales generadas en el país con el fin de prevenir la posible contaminación de las masas de agua por el vertido de las aguas residuales deficientemente tratadas o simplemente no tratadas.

Según esta normativa, compete al Ejecutivo Federal, “el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso de dichas aguas, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales”. Por otra parte, son atribuciones de la comisión nacional del agua, el estudiar los montos recomendables para el cobro de derechos de agua y tarifas relativas a la descarga de aguas residuales.

¹¹ Disponible en el siguiente enlace: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-37-12.pdf>

3. Compromisos de mitigación de emisiones recogidos en las NDC de México

Tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, México ha ratificado el Acuerdo de París, por lo que ha establecido compromisos a nivel nacional para mitigar las emisiones de GEI del país. En este apartado se recogen los compromisos establecidos por México ante la UNFCCC.

Los compromisos principales que el país propone alcanzar se denominan Metas, y en el caso de México estas metas se dividen en dos tipos. Por una parte, se encuentran las metas condicionadas, estas metas estarían condicionadas a lograr recursos adicionales a los existentes en el país para su logro. Por otra parte, se encuentran las metas no condicionadas, que son aquellas que no requieren de ningún tipo de recurso adicional para su logro.

México, a través de sus NDC se compromete a lograr una reducción de un 22% de las emisiones de GEI al año 2030 sobre las emisiones representadas en el inventario nacional de emisiones de GEI del año 2013, según sus metas no condicionadas. En la Figura 3, se muestran las reducciones por sector, y en la Figura 4 se muestra la reducción de emisiones de GEI que supondría el logro de las metas fijadas en las NDC del país.

Por otra parte, México, en sus metas condicionadas, recoge compromisos de reducción de emisiones de GEI de hasta un 36%.

Figura 3. Metas no condicionadas de reducción de las emisiones de GEI según los diferentes sectores nacionales para el año 2030 en México.

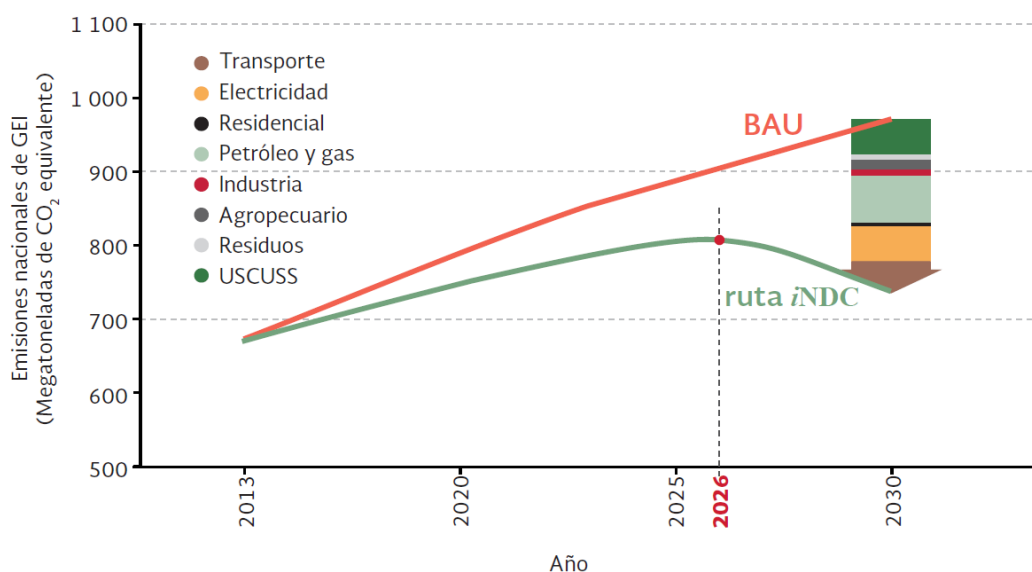


Fuente: Elaboración propia en base al informe sobre Compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático para el periodo 2020 – 2030¹².

¹² Gobierno de la República, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 – 2030. Disponible en el siguiente enlace: http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015_indc_esp.pdf

En la imagen arriba, se muestran los diferentes sectores del inventario nacional de emisiones de GEI de México. Como puede verse, para el sector de los residuos se prevén emisiones de 49 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_2eq) para el año 2030 según la línea base empleada en la NDC, que serían las emisiones esperadas de GEI en el caso de seguir la tendencia actual y no aplicar ningún tipo de medida de mitigación. Según los objetivos marcados por México, para el sector de los residuos, estas emisiones podrían reducirse en un 28.6%, hasta alcanzar valores de 35 MtCO_2eq en el año 2030.

Figura 4. Diagrama de metas de mitigación de emisiones de GEI en México para el año 2030.



Fuente: Compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático para el periodo 2020 – 20306.

En el caso concreto del sector de las aguas residuales en México, las NDC recogen otras metas y objetivos adicionales:

- Recuperar y usar el metano en los rellenos sanitarios municipales y las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Garantizar y monitorear el tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales en asentamientos humanos mayores a 500,000 habitantes.

Es importante matizar que los objetivos de reducción de emisiones de GEI establecidos en las NDC se basan en las proyecciones del inventario nacional para el año base 2013. Actualmente, el inventario nacional ha publicado su última versión relativa al año base 2015, en la que se aprecian ciertas diferencias en relación con la anterior versión. El análisis de la mitigación de las medidas propuestas en la presente RTI deben estar alineadas con la última versión del inventario, por lo que se ha construido un escenario BaU a partir de las consideraciones de esta última versión del Inventario, por lo que es un escenario BaU (o línea base) que difiere del escenario BaU empleado por la NDC.

4. Sector de las aguas residuales

En el presente apartado se analizará el sector de las aguas residuales desde su generación, tratamiento y emisión de GEI.

4.1. Generación y tratamiento de aguas residuales

La generación de aguas residuales está directamente relacionada con la población, por ello, la generación de aguas residuales va en aumento al mismo tiempo que aumenta la población del país. Esta población puede estar concentrada en núcleos urbanos (zonas urbanas) o en áreas alejadas de esos núcleos (zonas rurales).

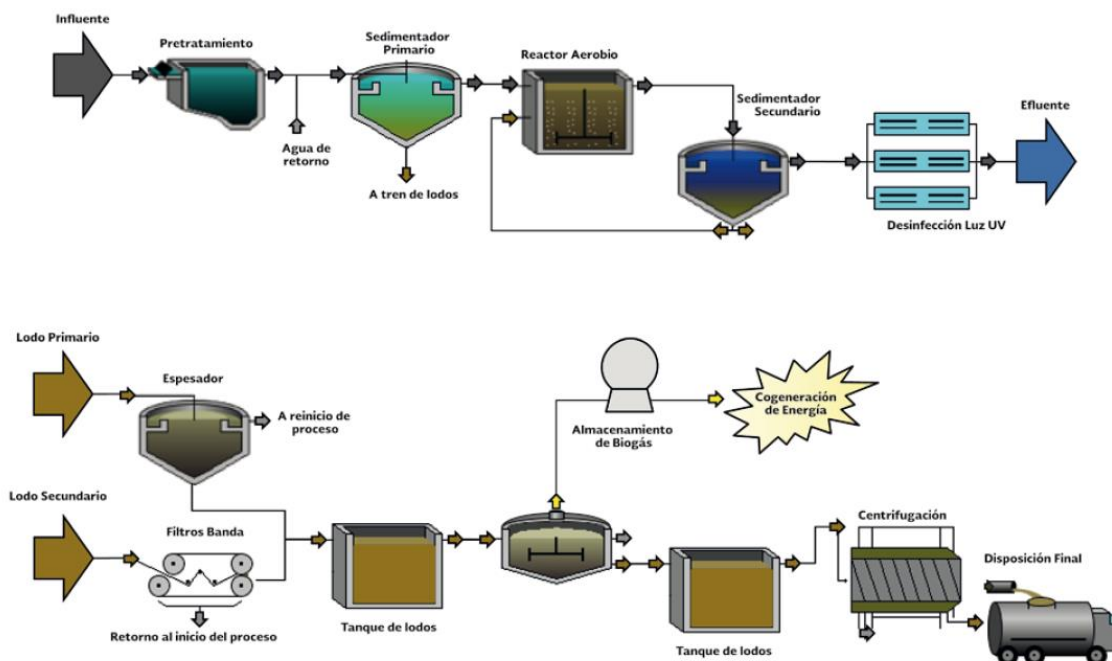
Las aguas residuales se dividen en dos grupos según su procedencia, aguas residuales municipales y aguas residuales industriales. Las primeras, proceden de comercios, escuelas y hogares de localidades urbanas y rurales, y se colectan en sistemas de alcantarillado sanitario municipal, mientras que las aguas residuales industriales son aquellas generadas en los procesos industriales.

El tratamiento de estas aguas residuales es fundamental para evitar la contaminación de las masas de agua. Estos tratamientos se realizan de forma individualizada para ambos tipos de aguas residuales, aplicando las tecnologías necesarias para cada uno de los tipos de aguas, profiriéndoles así las características necesarias para poder ser vertidas a las masas de agua (tras tratamiento).

Hay muchas formas de realizar el tratamiento de las aguas residuales, aunque el método más utilizado son las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tanto municipales como industriales. En estas plantas, los métodos de tratamiento más comunes son los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Los tratamientos primarios consisten en tratamiento físicos encargados de remover los sólidos de mayor tamaño y las grasas y aceites. Los tratamientos secundarios son procesos biológicos en los que actúan microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de forma aerobia o anaerobia, esto es, con o sin oxígeno, respectivamente. El tratamiento terciario consiste en procesos adicionales para la remoción de nutrientes (N y P) mediante procesos de nitrificación-desnitrificación, remoción biológica de fósforo o bien mediante coagulación-floculación. El tratamiento terciario avanzado, consiste en la desinfección de las aguas residuales mediante la eliminación de patógenos con cloro, ozono o luz UV.

A continuación, se muestra un esquema típico de los procesos llevados a cabo para el tratamiento de las aguas residuales en una PTAR.

Figura 5. Esquema de los procesos realizados en una PTAR.



Fuente: Procesos de tratamiento de la PTAR Hermosillo en Sonora mediante el sistema de lodos activados, obtenida del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2016¹³.

Como puede verse en la figura anterior, durante el tratamiento de las aguas residuales se genera, por una parte, un agua tratada que es vertida a un efluente y, por otra parte, un residuo sólido denominado lodo o fango que es tratado y depositado.

4.2. Emisión de GEI en el sector de las aguas residuales

Durante la gestión de las aguas residuales, pueden generarse emisiones de GEI, tanto durante su tratamiento como su eliminación o vertido a un cuerpo de agua. Por ello, es necesario analizar la relación de estas aguas residuales con su efecto en el cambio climático para comprender su influencia y saber los factores sobre los que actuar para reducir estas emisiones.

El tratamiento o vertido de las aguas residuales pueden ser fuente de emisiones de metano (CH_4) y óxido nítrico (N_2O). Las emisiones de CH_4 se generan de la degradación en condiciones anaerobias de las aguas residuales y los lodos generados de su tratamiento. La cantidad de metano generado

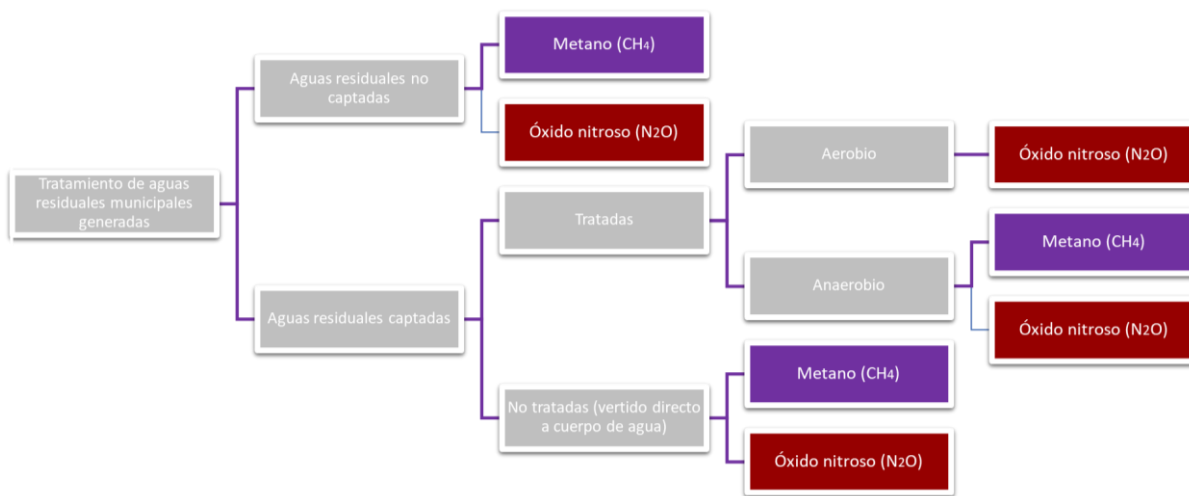
¹³ El Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de 2016 está disponible en el siguiente enlace: <http://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-6-17.pdf>

depende principalmente de la cantidad de materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, la temperatura y el tipo de tratamiento recibido.

Las aguas residuales también pueden ser susceptibles de emitir N_2O por la degradación de sus compuestos de nitrógeno, como la urea o las proteínas. Las aguas residuales más susceptibles de emitir estos compuestos son las aguas residuales municipales durante su tratamiento y/o vertido. Durante el vertido, las aguas residuales sufren una degradación aerobia que puede generar emisiones de N_2O . Por otra parte, el tratamiento de las aguas residuales municipales mediante tratamientos terciarios con procesos de nitrificación y desnitrificación de las aguas puede generar emisiones de N_2O en la planta de tratamiento. Por lo tanto, se tendrían emisiones procedentes del vertido a un cuerpo de agua y desde la planta de tratamiento de aguas residuales.

En función del tipo de tratamiento al que son sometidas las aguas residuales generadas, se producen emisiones de CH_4 o N_2O . En el esquema a continuación (Figura 6) se muestra el tipo de compuestos que se emiten en función del tipo de tratamiento que reciben las aguas residuales generadas.

Figura 6. Esquema de la generación de emisiones en función del tipo de tratamiento recibido por las aguas residuales generadas.



Fuente: Elaboración propia en base a las guías del IPCC de 2006

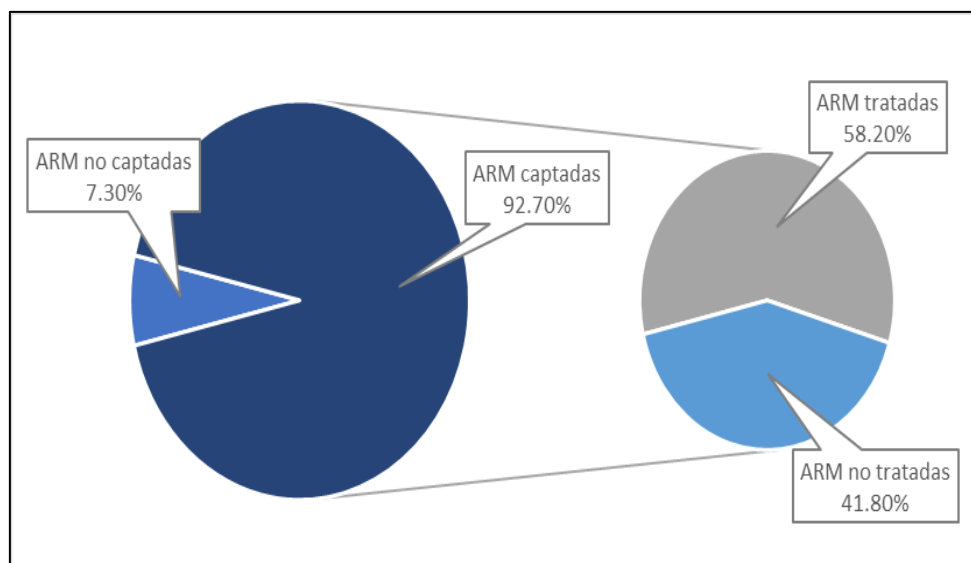
4.3. Análisis de la situación del sector de las aguas residuales en México

El sector de las aguas residuales en México ha tenido grandes avances en los últimos años, tanto en tratamiento de las aguas residuales generadas en el país como en la cobertura de alcantarillado para la recolección o captura de estas aguas.

En esta sección se presenta la situación actual del sector de las aguas residuales en México mediante el aporte de los datos más actualizados publicados en el país. Para ello, se hará uso del documento publicado anualmente por el gobierno mexicano y elaborado por CONAGUA, en el que se recoge la situación del sector del agua potable y las aguas residuales. El documento en cuestión se denomina “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” cuya última edición es la del año 2017, a fecha de elaboración de este informe. A continuación, se recogen los datos más representativos de la situación del tratamiento y recolección de aguas residuales en México, en base al documento antes mencionado.

Según los últimos datos reportados en el año 2016, se generaron a nivel nacional más de 7,200 millones de m³ de ARM, de los cuales el 92.70% fueron captadas. Del volumen de ARM colectadas, un 58.30% recibieron tratamiento, mientras que el 41.70% restante fue vertido sin previo tratamiento.

Figura 7. Repartos de la gestión de las ARM a nivel nacional en el año 2016.

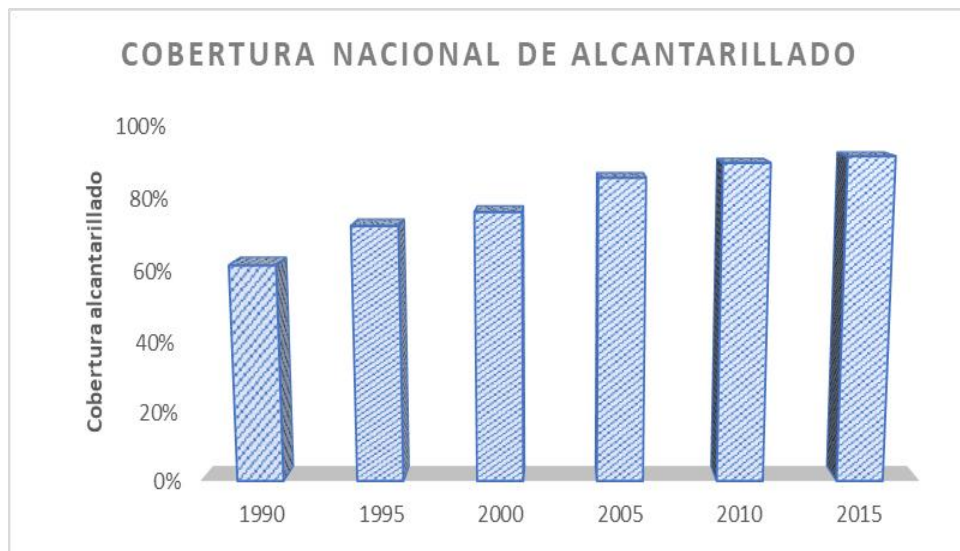


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA “Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento” de 2017.

Las aguas no captadas son aquellas ARM que no son recogidas mediante sistemas de alcantarillado. La captación de las ARM mediante alcantarillado es un indicador a tener en cuenta y se establece mediante la cobertura de alcantarillado nacional. Actualmente, la cobertura de alcantarillado a nivel nacional para el año 2015 es de un 91.4%. Concretamente, en las zonas urbanas, la cobertura de alcantarillado es de un 96.60%, mientras que en las zonas rurales la cobertura de alcantarillado es de un 74.20%.

México, recoge metas sobre cobertura de alcantarillado al año 2018 donde marca como objetivo el logro de un 93% de la cobertura de alcantarillado nacional (frente al 91.4% en 2015), un 96.6% de cobertura de alcantarillado urbano para el año 2018 (96.6% recogido en el año 2015) y un 80% de cobertura de alcantarillado rural para el año 2018 (un 74.2% recogido en el 2015).

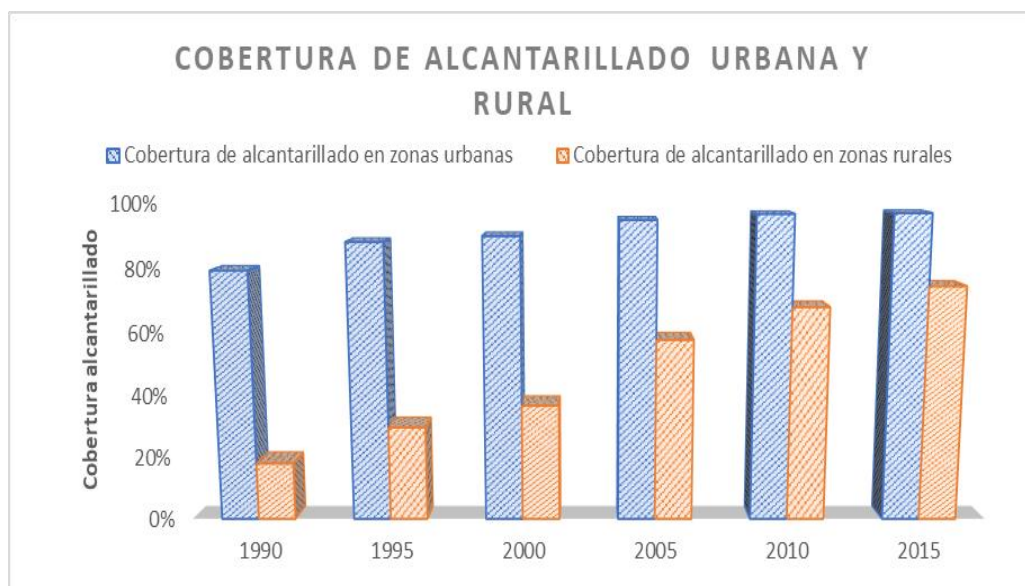
Figura 8. Evolución temporal de la cobertura nacional de alcantarillado en México.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento" de 2017.

La evolución temporal de la cobertura de alcantarillado puede dividirse entre la evolución de la cobertura en zonas urbanas y rurales, tal y como se muestra en la Figura 9 a continuación.

Figura 9. Evolución temporal de la cobertura de alcantarillado urbano y rural de México.

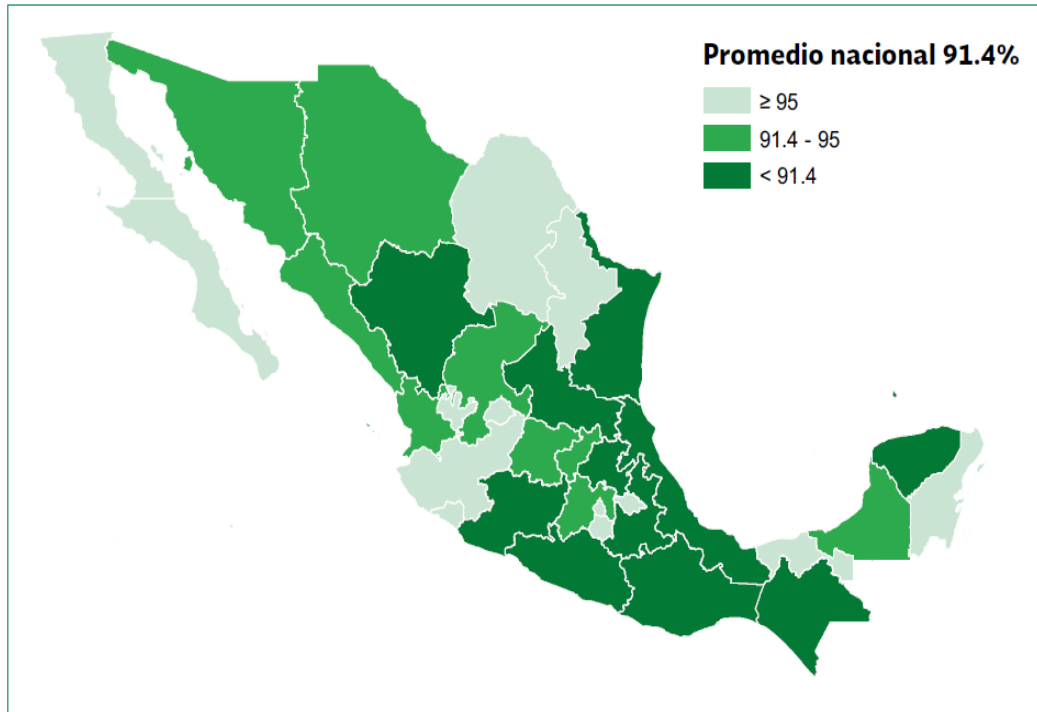


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento" de 2017.

En la imagen siguiente (Figura 10) se muestra el porcentaje de cobertura de alcantarillado por estado federativo de México mediante un código de colores para el año 2015.

Figura 10. Cobertura de alcantarillado a nivel nacional representado por estados para el año 2015.

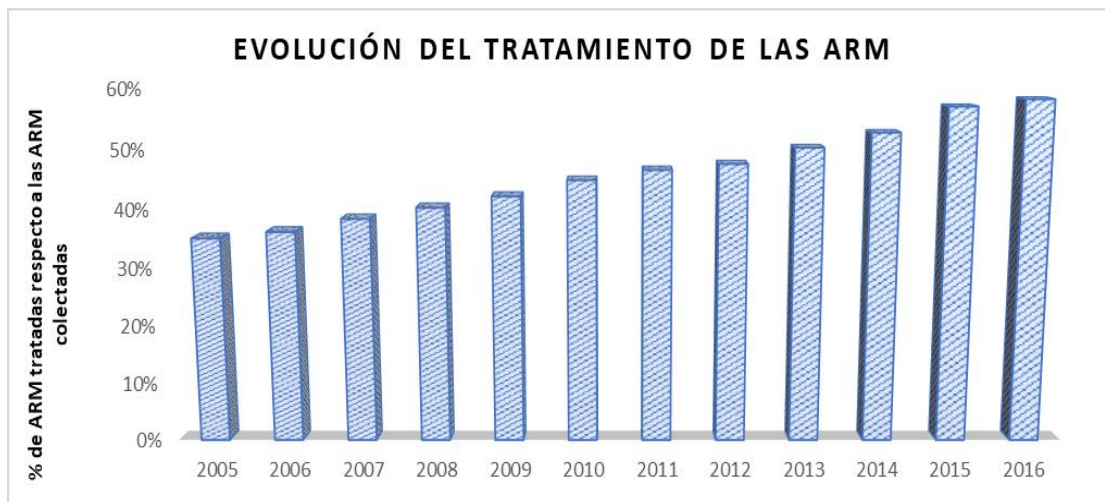
MAPA 2 Cobertura de alcantarillado en México, 2015 (porcentaje)



Fuente: INEGI, CONAGUA/SGAPDS/Gerencia de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Redes de Alcantarillado

En lo que respecta a los niveles de tratamiento de ARM, se publica anualmente un documento denominado “Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación” (última publicación en diciembre de 2016), en el que se recogen un total de 2,536 PTAR en operación en el país. Durante el año 2016, se construyeron y entraron en operación 59 plantas nuevas, tratando 85 millones de m³ durante ese año. La evolución que ha sufrido la cobertura de tratamiento (el porcentaje de ARM que son tratadas a nivel nacional en PTAR), se puede visionar en la figura a continuación.

Figura 11. Evolución temporal del porcentaje de tratamiento de las ARM sobre el total de ARM colectadas en México.

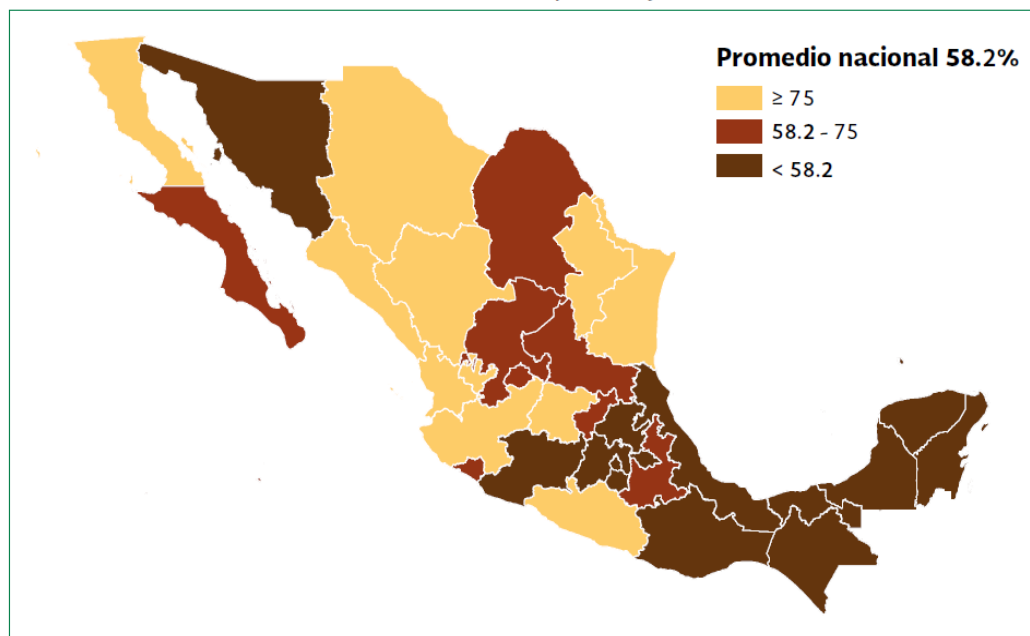


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA, "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento" de 2017.

En la imagen siguiente (Figura 12) se muestra el porcentaje de cobertura de tratamiento de ARM por estado federativo de México mediante un código de colores.

Figura 12. Cobertura de tratamiento de ARM a nivel nacional representado por estados para el año 2016.

MAPA 3. Cobertura de tratamiento en México, 2016 (porcentaje)



Fuente: CONAGUA/SGAPDS/Gerencia de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Redes de Alcantarillado

En lo que respecta a las ARI, México cuenta con 3,041 plantas que tratan esas aguas, las cuales funcionan a un 85.2% de su capacidad instalada de tratamiento, tratando durante el año 2016 más de 2,000 millones de m³ de ARI, según los datos reportados en el informe sobre la situación del subsector de agua potable, alcantarillado y saneamiento del 2017. Por otra parte, y según los datos publicados con la CONAGUA, durante el año 2016 se generaron alrededor de 6.86 millones de m³ de ARI en México, de los cuales sólo un 34.91% de esas aguas residuales fueron sometidas a tratamiento.

Las aguas residuales, al ser sometidas a tratamientos anaerobios, generan biogás que puede captarse y utilizarse como fuente de energía. El documento recoge la existencia de 9 PTAR (operando mediante tratamiento anaerobio de lodos activados) en México que cuentan con un sistema de captación de biogás para su posterior limpieza y cogeneración de energía eléctrica. En la tabla a continuación, se muestran algunos datos sobre estas plantas y la energía generada.

Tabla 1. Características de las PTAR de ARM en México con cogeneración. Fuente: CONAGUA, 2017, Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Nombre de la PTAR	Estado	Capacidad instalada (L/s)	Capacidad de generación de energía eléctrica (MW)
León	Guanajuato	2,500	1.1
La Purísima	Guanajuato	250	0.1
Atotonilco (en etapa de pruebas de capacidad)	Zona Metropolitana del Valle de México	23,000	15.2
El Ahogado	Jalisco	2,250	1.0
Agua Prieta	Jalisco	8,500	3.7
Dulces Nombres	Nuevo León	7,500	3.3
Norte	Nuevo León	3,000	1.3
San Pedro Mártir	Querétaro	750	0.3
Hermosillo	Sonora	2,500	2.0

Por otra parte, el documento sobre la situación del sector de las aguas residuales recoge también datos sobre las inversiones realizadas en el sector, estableciendo unas inversiones totales a nivel nacional en 2016 de 34,799.7 millones de pesos (80.34% destinados a zonas urbanas y 19.66% destinado a zonas rurales). Esta inversión se reparte en diferentes tipos de proyectos, entre los que se encuentran los proyectos de alcantarillado, de mejora de la eficiencia de tratamiento (PTARs) y

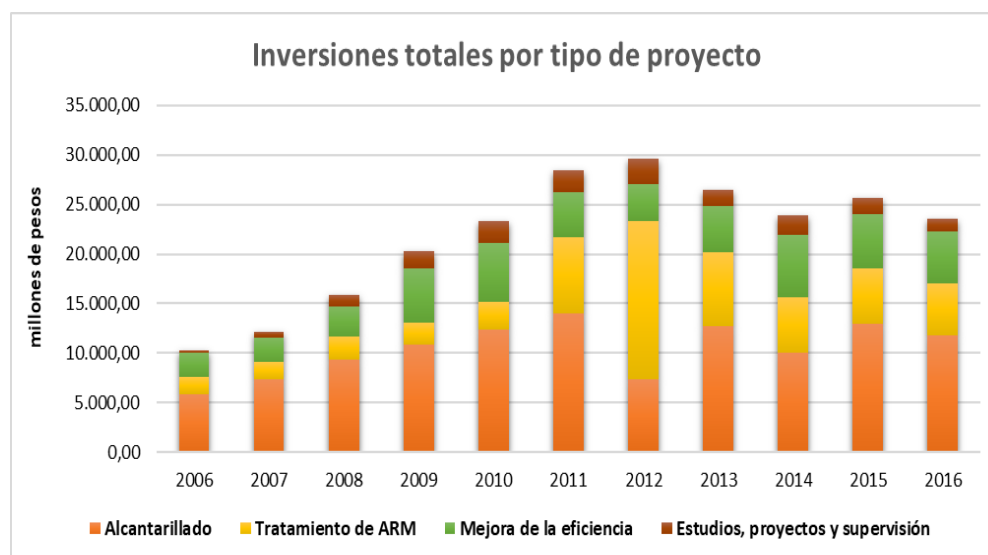
proyectos de incremento de la cobertura de tratamiento. El reparto de la inversión total nacional antes mencionados para cada uno de los proyectos se ha estimado (para el año 2016) en un 32.31% destinado a proyectos de incremento de la cobertura de alcantarillado, un 15.18% a proyectos de mejora de la eficiencia de tratamiento de las PTAR y un 15.05% destinado al incremento de la cobertura de tratamiento de las ARM.

De las inversiones totales a nivel nacional en 2016 antes mencionadas, el Gobierno Federal y sus contrapartes a través de los programas a cargo de la CONAGUA son responsables del 84.44%¹⁴ de las inversiones totales realizadas.

También recoge que los estados que reciben mayores inversiones para proyectos relacionados con el sector de las aguas son los estados de Ciudad de México, Guerrero y Nuevo León. De manera específica, el estado que recibe mayores inversiones para la realización de proyectos para el incremento de la cobertura de tratamiento es el estado de Baja California Sur, mientras que el estado de México recibe mayores inversiones para proyectos de incremento de la cobertura de alcantarillado.

Algunos de los datos más representativos sobre inversiones en el sector de las aguas residuales recogidos en el documento elaborado por la CONAGUA, se muestran en las imágenes siguientes.

Figura 13. Evolución temporal de las inversiones totales realizadas en México para proyectos relacionados con las aguas residuales en el país.

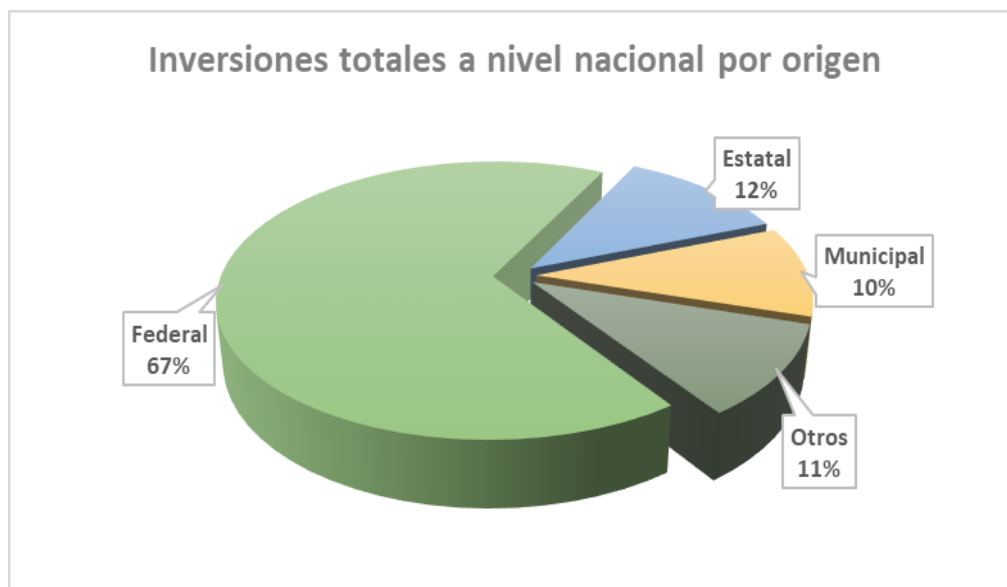


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA, "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento" de 2017.

¹⁴ La CONAGUA y otras dependencias reportan inversiones a 2016 por sector origen de recurso de 29,383.5 millones de pesos (cuadro 1.1 del documento de "Situación del subsector de agua potable, alcantarillado y saneamiento") mientras que las inversiones totales por sector origen de recurso en el 2016 fueron de 34,799.6 millones de pesos.

En la figura a continuación se muestran las inversiones realizadas en el año 2016 en el sector de las aguas residuales y agua potable según el origen de la inversión realizada.

Figura 14. Inversiones realizadas a nivel nacional en el año 2016 según el origen de los recursos.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos reportados en el informe anual de CONAGUA, "Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento" de 2017.

4.4. Proyectos en desarrollo en México relacionados con el sector de las aguas residuales

El Programa Nacional de Infraestructura (PNI) 2014 – 2018¹⁵ de México recoge los proyectos estrategias a realizar en el país según diferentes sectores. En el caso del sector hidráulico, algunos de los proyectos de inversión que se desarrollan o van a ser desarrollados (más relevantes), se muestran a continuación en la Tabla 2.

¹⁵ El Programa Nacional de Infraestructura 2014 – 2018 se puede consultar en el siguiente enlace <http://cdn.presidencia.gob.mx/pni/programa-nacional-de-infraestructura-2014-2018.pdf?v=1>

Tabla 2. Recopilación de los proyectos relacionados con el sector de las aguas residuales en México recogidos de la Agenda del Agua 2030. Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2014 – 2018.

Proyectos de ampliación de la red de alcantarillado
• Túnel Emisor Poniente II Región Centro: consiste en la construcción de un túnel para la captación del agua residual y pluvial de la zona Norponiente del Valle de México. Fecha 2014 – 2017, inversión de 2,228 mdp del Fideicomiso 1928. • Túnel Emisor Oriente (TEO) Región Centro: consiste en la construcción de un túnel para la captación de las aguas residuales y pluviales de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Fecha 2008 – 2018, inversión de 37,465 mdp de recursos presupuestarios federales (80%) y del Fideicomiso 1928 (20%).
Proyectos de rehabilitación o mejora de la gestión/mantenimiento de PTAR existentes
• Modernización de los sistemas de agua potable, drenaje y alcantarillado de la ciudad de San Francisco de Campeche: consiste en modernizar la red de alcantarillado dando servicio a 230,000 habitantes con una inversión de 1,324 mdp.
Proyectos de construcción de nuevas PTAR
• Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco Región Centro: consiste en la construcción de una PTAR en la cuenca del Valle de México, la cual presenta una de las coberturas de tratamiento más bajas. De esta manera, se consigue aumentar la cobertura de tratamiento de ARM de la zona metropolitana del valle de México hasta un 60%. Además, se captará y aprovechará el biogás generado en la planta, el cual podría satisfacer hasta el 60% del consumo de energía de la planta. Fecha 2009 – 2015, inversión de 6,564 mdp procedentes de la iniciativa privada (51%) y de recursos federales, incluido el FONADIN (49%). • Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Paz, B.C.S. Región Norte: consiste en la construcción de una PTAR para el tratamiento de 1,050 l/s de ARM en dos etapas. Fecha 2014 – 2015, inversión de 392 mdp (70% procedente de recursos fiscales federales y el 30% de recursos estatales y/o municipales). • Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Bahía de Banderas, Nay. Región Centro: consiste en la construcción de una PTAR para tratar 600 l/s de ARM. Fecha 2012 – 2014, inversión de 245 mdp (65% procedente de la iniciativa privada y el 35% procedente de recursos federales a través de FONADIN).

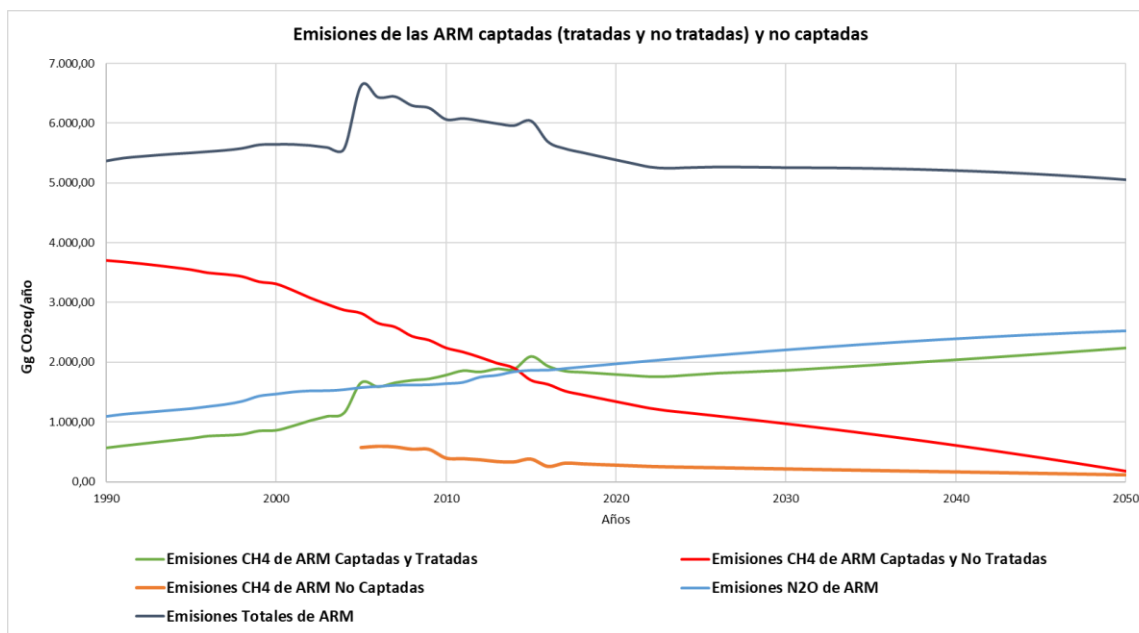
5. Serie histórica y línea base (proyección de las emisiones) de las emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México

La serie histórica (1990 – 2015) de las emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México se ha calculado en base a la metodología utilizada en el inventario nacional de emisiones de GEI de México, el cual está en línea con la metodología recogida en las guías del IPCC de 2006. La línea base o proyección de emisiones del sector, se ha calculado en base a la metodología utilizada en la serie histórica mediante diferentes consideraciones recogidas de forma detallada en el documento que compone el Producto 4 de este proyecto que se entrega junto con la base de datos, y recoge el manual de la misma. En dicho documento, se recoge de forma detallada todos los cálculos desarrollados para la obtención de las emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México, junto con todas las consideraciones tomadas para ello.

Las emisiones de GEI se han diferenciado según la fuente de emisiones, ya sean ARM o ARI, y se han distinguido también las emisiones derivadas de las aguas residuales que reciben tratamiento y aquellas que son vertidas a masas de agua sin previo tratamiento.

De esta manera, se obtienen las siguientes gráficas que se muestran a continuación:

Figura 15. Evolución temporal de las emisiones de ARM tratadas y no tratadas en las unidades de Gg CO₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior, se muestra la evolución de las emisiones de ARM para el periodo histórico 1990 – 2015 y las proyecciones de la línea base 2016 – 2050 (BaU). De esta manera, se muestra una proyección de las emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México a 2050, probable si no se aplicase ninguna medida de mitigación y las acciones a nivel nacional sobre el sector siguiesen la misma tendencia que la seguida hasta la fecha.

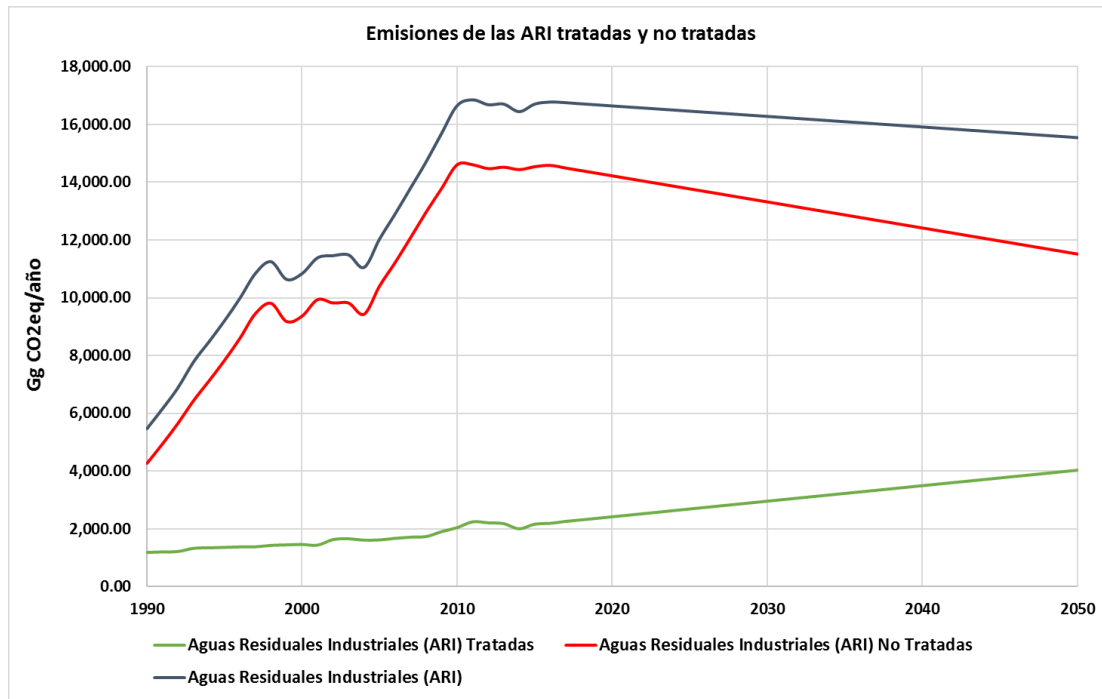
De esta manera, se aprecia una reducción considerable en las emisiones de CH₄ de las ARM no tratadas, puesto que la cantidad de ARM no tratadas fueron reduciéndose desde el 1990 hasta 2015. Por su parte, tanto las emisiones CH₄ del tratamiento de las ARM como las emisiones de N₂O de las ARM muestran una proyección ascendente a 2050. El incremento de las emisiones del tratamiento de las ARM está motivado por el aumento del tratamiento de ARM (por la reducción de la cantidad de ARM no tratadas). En términos de emisión, el tratamiento de las ARM tiene un factor de emisión de CH₄ mayor al establecido por el vertido directo de las ARM sin previo tratamiento.

Por otro lado, las emisiones de N₂O están directamente relacionadas con el crecimiento de la población, ya que depende de la cantidad de proteína consumida por la población y posteriormente eliminada en las ARM generadas. En el caso concreto de México, las proyecciones de población siguen una tendencia notablemente lineal y creciente, por lo que las emisiones de N₂O seguirán la misma tendencia.

Por último, y en lo que respecta a las emisiones totales de ARM (tratadas y no tratadas), se prevé un decrecimiento en las emisiones de GEI de las ARM hasta el año 2023 seguido de un aumento progresivo hasta el año 2039 donde alcanza el valor máximo de emisión y se reduce ligeramente hasta el año 2050.

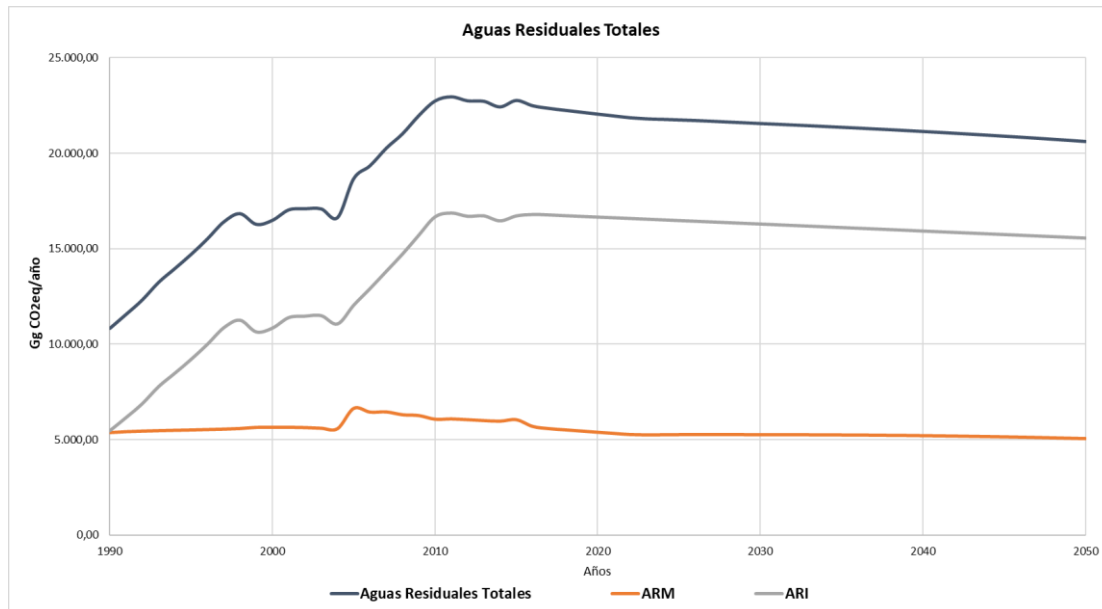
Las emisiones relativas al tratamiento y vertido directo sin previo tratamiento de las ARI siguen también una tendencia decreciente a 2050, tal y como puede verse en la gráfica abajo. En el periodo histórico las emisiones de GEI relativas a estas aguas residuales tuvieron una tendencia notablemente creciente llegando a estabilizarse a partir del año 2010. A partir del año de estabilización de las emisiones se muestran reducciones en las cantidades de ARI no tratadas, por ello, se decide tomar una proyección para la línea base en la que la cantidad de ARI no tratadas siguiese la tendencia decreciente de los últimos años, mientras que la cantidad de ARI tratadas siguiese una proyección ascendente relacionada con el incremento del Índice de Producción Industrial (IPI) nacional.

Figura 16. Evolución temporal de las emisiones de ARI tratadas y no tratadas en las unidades de Gg CO₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Evolución temporal de las emisiones de ARM y ARI en las unidades de Gg CO₂ equivalente anual para el periodo histórico (1990 – 2015) y línea base o proyección (2016 – 2050).



Fuente: Elaboración propia.

6. Identificación y priorización de medidas de mitigación en el sector de las aguas residuales en México

La identificación de las medidas de mitigación se realizó en base a los diferentes programas y planes nacionales relativos a las aguas residuales. Tras esa primera identificación, las medidas fueron presentadas a los actores clave en los talleres desarrollados por la consultoría, en los que se presentaron las medidas de mitigación. De los talleres de socialización con los actores clave, se lograron priorizar 4 medidas de mitigación. Dos de las 4 medidas de mitigación están directamente relacionadas con el tratamiento de las ARM, una medida relacionada con la generación de lodos durante el tratamiento de las ARM y una última medida de mitigación relacionada con las ARI de México. En la tabla a continuación se muestra el listado de las medidas de mitigación finalmente priorizadas para su función en la reducción de emisiones de GEI del sector de las aguas residuales de México.

Tabla 3. Medidas de mitigación identificadas en el desarrollo del trabajo. Fuente: elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave identificados.

No.	Nombre de la medida	Fuente	Comentario
M1	Incremento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales.	PECC 2014 – 2018	Medida prioritaria
M2	Sustitución, en base al caudal de ARM captadas, de sistemas anaerobios por sistemas aerobios	5ª Comunicación Nacional	Medida adicional a la medida M1, se considera de interés para alcanzar los compromisos de la NDC.
M3	Captura y aprovechamiento del biogás generado en PTAR.	Acuerdo de grupo de trabajo	Medida prioritaria
M4	Incremento de las ARI tratadas respecto a las ARI captadas.	Acuerdo de grupo de trabajo	Medida prioritaria

7. Ruta Tecnológica y de Instrumentación (RTI) de las medidas de mitigación priorizadas

La ruta tecnológica y de instrumentación, tiene como finalidad recoger toda la información necesaria sobre las medidas de mitigación priorizadas en el sector de las aguas residuales de México. Para ello, es necesario realizar un análisis detallado de cada una de esas medidas de mitigación, mencionando sus objetivos principales, los actores responsables de la implementación de la medida, los supuestos, cálculos y resultados de la evolución de las emisiones de GEI nacionales tras la implementación de cada una de las medidas, sus potenciales de abatimiento respecto a las emisiones de GEI proyectadas en la línea base, la ruta de implementación a seguir para una coherente implementación de la medida en el país, además de otros aspectos a tratar.

Los potenciales de abatimiento de emisiones de GEI son un factor limitante a la hora de establecer rutas de implementación, puesto que dicho potencial establece la cantidad de emisiones que una medida de mitigación podría reducir en comparación con las emisiones previstas si la situación en el sector siguiera la misma tendencia que la seguida hasta la fecha. Estos potenciales de abatimiento se comparan con las metas de mitigación nacionales establecidas en las NDC de México, para de esa forma poder identificar el grado de abatimiento respecto a las metas nacionales.

El presente apartado recoge las medidas de mitigación de emisiones de GEI del sector de las aguas residuales en México, con una descripción detallada de lo que propone la medida, junto con información sobre beneficios, barreras, instrumentos, mitigación de emisiones, entre otras.

Tabla 4. Acciones específicas de las medidas de mitigación propuestas en la ruta tecnológica y de instrumentación.

Fuente: Elaboración propia

Medida de Mitigación 1 (M1): Incrementar la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales
• Aumentar el tratamiento de aguas residuales municipales captadas mediante su tratamiento en PTAR con lodos activados. • Aumentar la eficiencia de operación de las plantas de lodos activados.
Medida de Mitigación (M2): Sustitución, en base al caudal de ARM captadas, de sistemas anaerobios por sistemas aerobios
• Sustituir los tratamientos anaerobios como fosas sépticas y similares, por tratamientos aerobios en PTAR con lodos activados en el caso de zonas urbanas y mediante el tratamiento en humedales en zonas rurales.
Medida de Mitigación (M3): Captura y aprovechamiento del biogás generado en PTAR
• Aumentar la cantidad de biogás producido en PTAR

- Aumentar el aprovechamiento energético del biogás captado en PTAR
- Reducción de lodos depositados en sitios de disposición en favor de tratamientos alternativos (digestión anaerobia y uso como fertilizante)

Medida de Mitigación (M4): Aumento de las ARI tratadas respecto al caudal de ARI captadas

- Reducción de las ARI no tratadas

7.1. Medida de mitigación M1: Incrementar la cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales

7.1.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida

Esta medida de mitigación, según se recoge en la Agenda del Agua 2030 (AA2030), propone incrementar la cobertura de tratamiento de las aguas residuales municipales generadas en la República Mexicana. La finalidad de esta medida es incrementar la cantidad y calidad de las ARM que reciben tratamiento en el país (tanto en zonas urbanas como rurales). Por ello, la implementación de esta medida supone incrementar la cantidad de ARM que son tratadas sobre la cantidad de ARM que son captadas en el país. Por otra parte, se propone también incrementar la eficiencia de tratamiento de las ARM en las plantas de tratamiento, mediante la mejora en la calidad de la operación y mantenimiento de la planta.

La importancia de la implementación de esta medida en cuanto a emisiones de GEI, se basa en el aumento de ARM que recibe tratamiento y el consiguiente decrecimiento de las ARM que son vertidas directamente al efluente sin un tratamiento previo.

El objetivo principal de esta medida consiste en lograr que todos los cuerpos de agua de México recuperen la salud de los ecosistemas y biodiversidad naturales, para así continuar satisfaciendo las necesidades de la población y el crecimiento económico, embelleciendo el paisaje y contribuyendo a la calidad de vida de la población, tal y como se recoge en la AA2030¹⁶ elaborada por la CONAGUA en 2011.

Para el análisis del abatimiento de emisiones de GEI previsible en esta medida de mitigación, se han elaborado dos escenarios de mitigación con una sub-variante para cada uno de ellos, con lo que se presentan cuatro escenarios en total para la presente medida de mitigación.

¹⁶ CONAGUA, Agenda del Agua 2030. Disponible en el siguiente enlace:
http://gia.imta.mx/geoportal/docs/Agenda_Agua_2030.pdf

Los plazos de ejecución de esta medida de mitigación vienen marcados por los dos escenarios principales planteados. El escenario que recoge los objetivos fijados por los Programas Hidrológico-Regionales tiene un plazo de ejecución de 2017 a 2030, y el escenario que recoge las previsiones especificadas por la CONAGUA tiene un plazo de ejecución de 2017 a 2050.

En el apartado a continuación, se muestran detallados los escenarios identificados para el análisis del cumplimiento del objetivo de esta medida relativo al incremento del tratamiento de las ARM de México.

7.1.2. Escenarios propuestos para la medida

Para el logro de los objetivos de reducción de emisiones de GEI mediante la ampliación de la cobertura de tratamiento de ARM, se han planteado dos escenarios principales y dos sub-escenarios. En la tabla a continuación, se muestra de forma resumida los escenarios, que serán detallados más abajo.

Tabla 5. Resumen de escenarios propuestos para la implementación de la medida de mitigación M1.

Nombre del escenario	Descripción / Objetivos
Escenario 1 – Escenario Potencial	Este escenario se basa en el planteado por la Agenda del Agua 2030 de México (AA2030). Los objetivos sobre porcentaje de ARM tratadas respecto a las ARM captadas lo establecen los Programas Hídricos Regionales (PHR) de la AA2030 para los años 2018 (65.24%), 2024 (79.94%) y 2030 (95.51%). Se mantienen constantes los grados de utilización sobre las ARM tratadas de las tecnologías de tratamiento establecidos en el BaU.
Escenario 1.1 – Escenario Potencial de Eficiencia Máxima	El escenario 1.1. parte del escenario potencial, por lo que los objetivos sobre porcentaje de ARM tratadas sobre las ARM captadas son los anteriores. En este caso, además de tener en cuenta la tendencia natural calculada en el BaU sobre el tratamiento de ARM mediante lodos activados bien gestionados, también se considera que todas las plantas de lodos activados operan de forma eficiente.
Escenario 2 – Escenario CONAGUA	Los objetivos sobre porcentaje de ARM tratadas respecto a las ARM captadas quedan determinadas por los datos de CONAGUA, más ajustados a la actualidad y a las circunstancias nacionales actuales que lo planteado en la AA2030 (incremento del 1.5% anual hasta 2030 y 0.5% anual hasta 2050). Se mantienen constantes los grados de utilización sobre las ARM tratadas de las tecnologías de tratamiento establecidos en el BaU, por lo que el tratamiento de ARM tiende a realizarse en plantas con tratamiento de lodos activados bien gestionados.
Escenario 2.1 – Escenario CONAGUA de Eficiencia Máxima	El escenario 2.1. parte del escenario CONAGUA, por lo que los objetivos sobre porcentaje de ARM tratadas sobre las ARM captadas son los anteriores.

En este caso, además de tener en cuenta la tendencia natural calculada en el BaU sobre el tratamiento de ARM mediante lodos activados bien gestionados, también se considera que todas las plantas de lodos activados operan de forma ineficiente.

A continuación, se exponen de forma más detallada cada uno de los escenarios propuestos.

7.1.2.1. Escenario Potencial

El **escenario potencial** parte de las **premisas establecidas en la AA2030** elaborada por la CONAGUA. El documento establece 5 líneas de acción: Cuencas en equilibrio, Ríos limpios (donde se incluye el tratamiento de las aguas residuales), Cobertura universal (donde se incluye el sistema de alcantarillado), Asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas e Iniciativas de carácter general. De cada una de estas líneas de acción, se especifican diferentes acciones concretas para lograr los objetivos marcados en cada una de las líneas a nivel nacional.

Por otra parte, la AA2030 desarrolla también programas específicos a nivel de Regiones Hidrológico-Administrativas de México (RHA), en las que desarrolla de forma concreta las metas, objetivo y acciones específicas aplicables a cada una de las RHA para el logro de los objetivos nacionales fijados en la AA2030. Las RHA, antes mencionadas, se distribuyen tal y como se representa en la Figura 18:

Figura 18. Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) de México junto con la representación de las Entidades Federativas.



Fuente: CONAGUA, Estadísticas del agua en México, edición 2016.

En estos programas desarrollados para cada una de las 13 RHA de México arriba descritas y denominados Programas Hídricos Regionales (PHR), se recogen todas las líneas de acción propuestas a nivel nacional en la AA2030, y se establecen metas específicas para cada una de ellas en cada RHA. Estas metas u objetivos cuantitativos han sido recogidos y analizados para el planteamiento de esta medida de mitigación. Como se ha mencionado anteriormente, en la AA2030 se han diferenciado 5 líneas de acción, pero solo una de ellas será tomada en consideración para el análisis de la mitigación de emisiones de GEI en el sector. Además, solo se tendrán en cuenta las metas relativas a una de las acciones dentro de la línea de acción a estudio: tratamiento de aguas residuales municipales colectadas y, a partir del momento en el que se cuente con la capacidad instalada suficiente para el tratamiento de las aguas generadas en los municipios.

Existen otras metas relacionadas con el sector de las aguas residuales, pero no han sido consideradas en esta RTI, dado que fueron descartadas por el equipo de trabajo que formó parte de la identificación y priorización de medidas de mitigación. Estas metas son el incremento de la cobertura de alcantarillado urbano y rural, correspondientes a la línea de acción sobre Cobertura universal. Actualmente, el inventario nacional no considera las emisiones de GEI procedentes de las ARM que no están siendo colectadas o captadas, por lo que existe un volumen de ARM que no recibe ningún tipo de tratamiento previo a su vertido a masas de agua que no está siendo considerado como foco de emisiones. Por otra parte, en las siguientes versiones del inventario nacional se tendrá en cuenta este volumen de ARM no captadas. Debido a que hasta la fecha las emisiones relativas a estas ARM no captadas no estaban siendo considerados, resulta imposible mitigar dichas emisiones, con lo que la medida de mitigación queda descartada.

Como se ha dicho, la medida de mitigación M1 sólo analizará la mitigación de las emisiones de GEI relativa al incremento de la cobertura de tratamiento en base a las metas establecidas en los PHR de la AA2030 para los años 2018, 2024 y 2030.

Tras analizar individualmente la meta establecida para cada RHA, se han determinado las metas nacionales para los años antes especificados¹⁷.

Tabla 6. Metas nacionales recogidas de la Agenda del Agua 2030 por cobertura de tratamiento de ARM. Fuente: Elaboración propia en base a las metas de los programas regionales de la AA2030.

Acción	2018	2024	2030
Tratamiento de ARM	65.24%	79.94%	95.51%

En la elaboración del escenario potencial, se han mantenido constantes todos los parámetros utilizados en el BaU, a excepción del parámetro de la fracción de ARM tratadas y no tratadas sobre

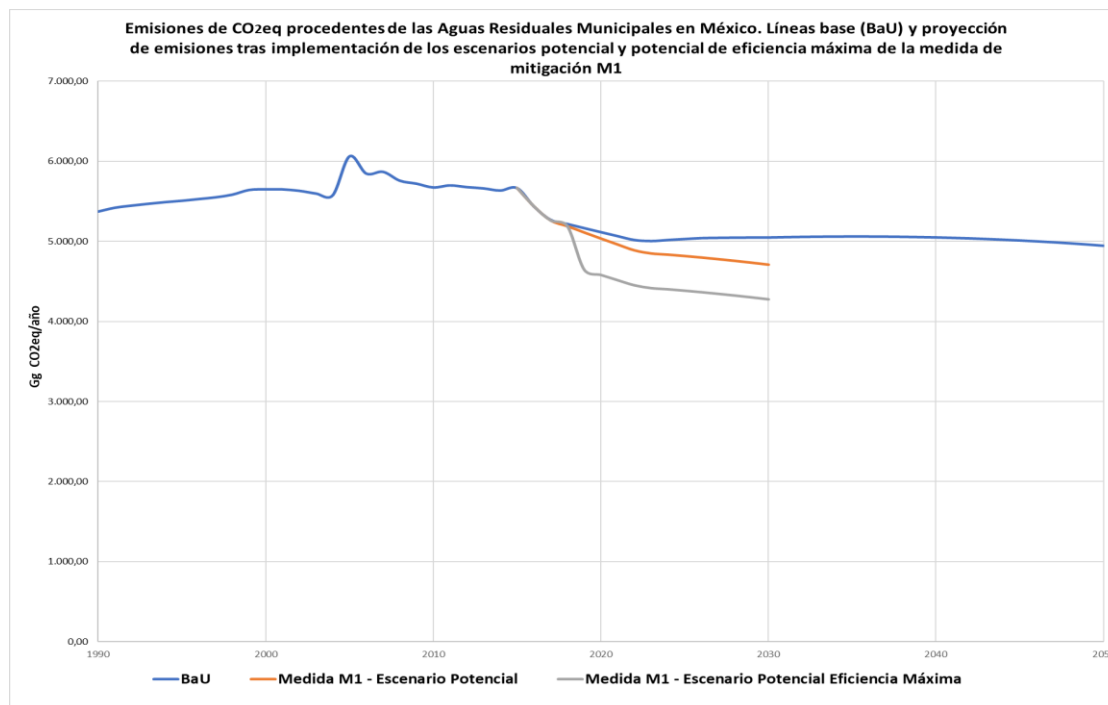
¹⁷ En el documento “base de datos” de esta consultoría se encuentran los valores regionales y el proceso seguido para la agregación de los datos a nivel nacional

el total de ARM captadas en México, el cual corresponde a las metas de la AA2030 recogidas en la tabla anterior.

Por otra parte, se elabora también un **sub-escenario 1.1**, en el que se considera la **cobertura de tratamiento potencial** (en base a las metas antes descritas) pero **considerando también una eficiencia máxima de operación de las PTAR que utilizan sistemas de lodos activados**. Esto supone operar de manera eficiente todas las plantas de lodos activados que actualmente no están siendo gestionadas de la mejor manera posible.

Realizando los cálculos oportunos para la obtención de las emisiones de GEI derivadas del tratamiento y vertido sin previo tratamiento de las ARM, tanto para el escenario principal potencial y el sub-escenario del potencial con eficiencia máxima (2017 – 2030), y comparando estos resultados con la línea base (escenario BaU) a 2050, se obtiene la siguiente gráfica (Figura 19), que muestra la evolución previsible de las emisiones de GEI tras la implementación del Escenario Potencial propuesto y el sub-escenario asociado al mismo. Los cálculos mencionados anteriormente, se recogen de forma detallada en el manual del Producto 4 elaborado en este trabajo.

Figura 19. Evolución de las emisiones de CO₂eq de las ARM en el periodo histórico y proyección (1990 – 2050) comparando la línea base (BaU) con las emisiones tras la implementación de los escenarios sobre la cobertura de tratamiento potencial de la M1.



Fuente: Elaboración propia.

Como puede verse en la gráfica anterior, el sub-escenario es capaz de reducir en mayor medida las emisiones de GEI respecto al escenario BaU.

7.1.2.2. *Escenario CONAGUA*

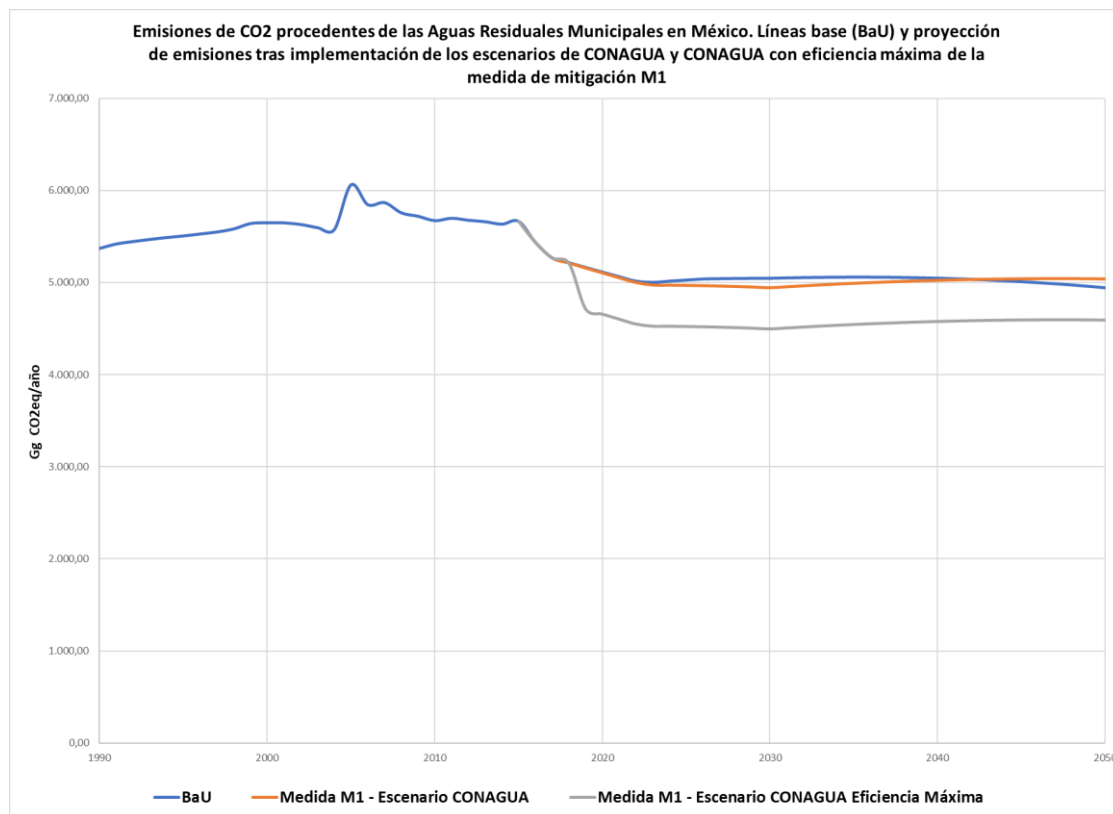
Se denomina **escenario CONAGUA** al escenario que recoge las **previsiones sobre incremento de la cobertura de tratamiento establecidas por la CONAGUA** a nivel nacional. Según estos datos proporcionados, basados en su conocimiento sobre los avances logrados en el país en los últimos años y las perspectivas a corto y medio plazo que se tienen a nivel país, se espera poder incrementar en un 1.5% anual la cobertura de tratamiento de las ARM. Esto significa incrementar en un 1.5% cada año la cantidad de ARM que están siendo tratadas respecto a las aguas captadas. Este incremento de la cobertura de tratamiento de las ARM captadas se mantendría constante hasta el año 2030, a partir del cual el incremento de cobertura de tratamiento se vería reducido hasta un 0.5% anual, o lo que es lo mismo, un incremento de 3% de la cobertura de tratamiento cada 6 años hasta el 2050. De esta manera, se consigue lograr una cobertura de tratamiento del 88.59% en el año 2050.

En este escenario, al igual que en el anterior, la proyección de los grados de utilización de cada una de las tecnologías respecto a las ARM tratadas, se mantiene constante a los obtenidos en el BaU, y al igual que en el escenario potencial, las nuevas ARM tratadas por la implementación del incremento de la cobertura de tratamiento, pasarían a tratarse en PTAR mediante sistemas de lodos activados operados de manera eficiente (bien gestionados).

En este escenario también se plantea un sub-escenario como en el caso anterior, relativo al incremento de la eficiencia de operación de las plantas de lodos activados a partir del año 2019 manteniendo la misma evolución de las fracciones de ARM tratada y no tratada como se establece en el escenario CONAGUA.

Volviendo a calcular las emisiones relativas al escenario del incremento de la cobertura de tratamiento de la CONAGUA y su sub-escenario en el que se considera también un aumento de la eficiencia de operación de las plantas de lodos activados, y comparando estas emisiones con las logradas en la línea base (BaU) del sector de las aguas residuales de México, se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 20. Evolución de las emisiones de CO₂eq de las ARM en el periodo histórico y proyección (1990 – 2050) comparando la línea base (BaU) con las emisiones tras la implementación de los escenarios sobre la cobertura de tratamiento establecida por CONAGUA de la M1.



Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que, a partir del año 2040, las emisiones derivadas de la implementación del escenario CONAGUA son superiores a las del escenario BaU. Esto viene motivado por la combinación de, por un lado, el mayor aumento de la fracción de ARM tratadas en el escenario BaU respecto a este escenario CONAGUA y, por otro, al MCF de los tratamientos respecto al de las aguas no tratadas.

Al igual que en el escenario anterior, todos los cálculos para la obtención de las emisiones de GEI se detallan en el documento entregado como Producto 4 de este proyecto.

7.1.3. Actores responsables de la medida

La CONAGUA es el ente nacional responsable del seguimiento de la cobertura de tratamiento de las aguas residuales municipales. Para este seguimiento, CONAGUA se apoya en los organismos operadores de las PTAR para la obtención de los datos necesarios. La relación entre actores responsables se recoge con más detalle en la sección relativa al sistema MRV de esta medida (ver Anexo I de este documento).

7.1.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente

A nivel general, la medida se encontraría principalmente alineada con la Ley General de Cambio Climático y la Ley de Aguas Nacionales (ambas expuestas al comienzo de este documento). A nivel nacional, la obligación de ampliar la colección de aguas residuales y el incremento de la cobertura de tratamiento es responsabilidad de los tres órdenes de gobierno (municipal, estatal y federales).

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con las siguientes normativas nacionales que se mencionan a continuación:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales** (será modificado por la NOM-001-SEMARNAT-2017)¹⁸: el objetivo de esta norma es proteger la calidad y posibilitar el uso de las masas de agua de México y establece que es obligatorio para los responsables de las descargas de aguas residuales observar la calidad de las mismas.
- **NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal**¹⁹: la finalidad de esta norma mexicana es prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a las aguas pluviales ni industriales que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público**²⁰. Esta normativa recoge la obligación de no sobrepasar los límites máximos establecidos de algunos contaminantes para las aguas residuales tratadas que vayan a ser reutilizadas en otros servicios públicos, cuya aplicación es obligatoria para todas las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

Las normas anteriores recogen obligaciones sobre límites en cuanto a contaminantes presentes tanto en las descargas de las ARM a los sistemas de alcantarillado como a las masas de agua. Relacionando directamente estas normativas con la medida de mitigación en cuestión se deduce la necesidad de llevar a cabo un tratamiento eficiente de las ARM, el cual está relacionado con la cobertura de tratamiento que se recoge en esta medida, puesto que la finalidad de la presente

¹⁸ Norma disponible en el siguiente enlace

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018

¹⁹ Norma disponible en el siguiente enlace

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/Ecolok.pdf>

²⁰ Norma disponible en el siguiente enlace <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3297/1/nom-003-semarnat-1997.pdf>

medida de mitigación, consiste en incrementar el tratamiento de las ARM generadas en el país, lo que supone una reducción de las ARM que son vertidas a las masas de agua sin previo tratamiento, responsables de la contaminación de esas masas de agua nacionales.

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con los siguientes instrumentos de la política nacional:

- **Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018²¹**: Este plan engloba todas las metas nacionales globales que a continuación serán desarrolladas de forma más específica. El plan se centra en 5 ejes principales y el eje que recoge las metas relativas al cambio climático y las aguas residuales más específicamente, es el eje 4 “México Próspero”, y más concretamente:
 - Objetivo 4.4. Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente.
- **Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2013 - 2018²²**, el cual es parte del Programa Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 de México. Centra su objetivo número 5 en “Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo”. Entre las estrategias recogidas en este objetivo, aquella relacionada directamente con el agua en la Estrategia 5.1. Proteger los ecosistemas y el medio ambiente y reducir los niveles de contaminación en los cuerpos de agua. Las acciones concretas sobre aguas residuales dentro de la estrategia son:
 - Línea de acción 5.1.6. Sanear las aguas residuales municipales e industriales con un enfoque integral de cuenca y acuífero.
 - Línea de acción 5.1.7. Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de las aguas residuales existente.
 - Línea de acción 5.1.8. Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.
- **Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2014 – 2018²³**: este programa recoge la vulnerabilidad del país a los efectos del cambio climático y establecen unas metas nacionales compuestas por objetivos y estrategias específicas para intentar reducir los efectos adversos del cambio climático en el territorio. En el Objetivo 4 del programa se menciona “Reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), proporcionando co-beneficios de salud y bienestar”, así mismo se señala como Estrategia 4.2. “Reducir emisiones de metano en plantas de tratamiento de aguas residuales”.
- **Programa Nacional Hídrico (PNH) 2013 – 2018²⁴**: al igual que en el PECC, en PNH recoge las metas propuestas a nivel nacional con el fin de proteger y conservar el agua nacional

²¹ El plan nacional puede consultarse en el siguiente enlace <http://pnd.gob.mx/>

²² El programa puede consultarse en el siguiente enlace <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/Documents/PROMARNAT%202013-2018.pdf>

²³ Programa disponible en el siguiente enlace http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf

²⁴ Programa disponible en el siguiente enlace <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/PNH2014-2018.pdf>

mediante estrategias específicas. En el Objetivo 3 del programa se recoge “Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, y en su Estrategia 3.3. se señala “Sanear las aguas residuales municipales e industriales con un enfoque integral de cuenca hidrológica y acuífero”. Esta estrategia tiene las siguientes líneas de acción:

- Línea de acción 3.3.1. Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales.
- Línea de acción 3.3.2. Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.

Tras la elaboración de esta ruta tecnológica, las siguientes administraciones deberían incluir en los próximos instrumentos de planeación PECC y PNH las estrategias y líneas de acción especificadas en este documento que no se estén contemplando actualmente, además de mantener y completar las especificaciones de las acciones existentes y que se tienen en consideración en esta RTI.

7.1.5. Programas de financiamiento específico

Esta medida de mitigación propuesta requiere de grandes inversiones para llevar a cabo su implementación, por ello, es necesario un apoyo económico suficiente para que los municipios puedan hacer frente a estos retos. El financiamiento puede ser internacional, generalmente proporcionado por bancos multilaterales, o financiamiento nacional, que está proporcionado tanto por bancos y fondos nacionales como por el estado.

A continuación, se expondrán las fuentes de financiamiento nacional e internacional más representativas para la obtención de apoyos económicos para la implementación de medidas relativas al sector de las aguas residuales.

7.1.5.1. Financiamiento nacional

Los mecanismos de financiamiento nacionales pueden proceder tanto de fondos gubernamentales como de bancos nacionales. En las siguientes líneas se muestran algunos de los fondos destinados a proyectos relacionados con el sector de las aguas residuales procedentes de diferentes organismos del gobierno de México y bancos mexicanos.

Fondos gubernamentales

- **Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP):** Esta secretaría del gobierno de México promueve algunos fondos como los fondos municipales²⁵, metropolitanos y regionales. Estos fondos se destinan a agrupaciones de municipios, zonas metropolitanas y/o regiones que se han unido para lograr el financiamiento para proyectos relativos a la gestión de sus aguas residuales. El tipo de fondo depende del tipo de unión llevada a cabo para lograr dicho financiamiento y puede ser útil en aquellas zonas que geográficamente se encuentren muy cercanas las unas de las otras pero que corresponden a entidades federativas diferentes.
- **Juntas Intermunicipales:** Consiste en la colaboración de varios municipios cercanos, aunque de entidades federativas diferentes para facilitarse el acceso a la obtención de financiación.
- **Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)**²⁶: Vehículo de coordinación del Gobierno de México para el desarrollo de infraestructura en sectores de comunicación, transporte, agua, medio ambiente y turismo. El fondo ha apoyado proyectos en México como la rehabilitación de la planta de tratamiento de Punta Bandera, el diagnóstico del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Valle de Bravo y la rehabilitación de 13 plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - **Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)**²⁷: Este programa se alimenta mediante el Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)²⁸ y su objetivo se basa en incrementar la cobertura de alcantarillado de las entidades federativas y municipios, principalmente aquellos con más de 50,000 habitantes.
- **Ley de Ingresos de la Federación (LIF 2018)**
- **Programa de Infraestructura:** Programa impulsado por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)

Existen además programas dirigidos no solo a financiar los proyectos relacionados con las aguas residuales, sino también a proporcionar apoyo técnico.

²⁵ Puede consultarse información sobre los fondos municipales en el siguiente enlace: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220840/Programas_Federales_2017_VERSION_ELECTRONICA_FINAL_1.pdf

²⁶ Puede consultarse información sobre el fondo FONADIN en el siguiente enlace: <http://www.fonadin.gob.mx/>

²⁷ La información sobre el programa PROMAGUA se puede consultar en el siguiente enlace: <http://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/programa-de-modernizacion-de-organismos-operadores-de-agua-promagua/>

- **Programas impulsados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA):** Los programas de CONAGUA se modifican cada poco tiempo, con lo que es necesario consultar las posibles modificaciones en su página web²⁹

Cualquiera de estos programas podría ser solicitado por los municipios para incrementar su cobertura de tratamiento (mediante la construcción de nuevas infraestructuras de tratamiento o rehabilitación/modernización de las existentes o el aumento de la eficiencia de tratamiento de las PTAR existentes).

Bancos nacionales

- **Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos SNC (BANOBRAS)³⁰:** programas específicos para la creación de infraestructuras de aguas residuales:
 - **BANOBRAS – FAIS³¹:** esquema financiero multianual que permite la anticipación de recursos del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS), para apoyar el desarrollo de infraestructura social en las zonas con mayor grado de marginación.
 - **Crédito Simple³²:** producto financiero hecho a la medida que se ajusta a los requerimientos específicos de cada cliente (por ejemplo, plazo, esquema de tasa y destino). A diferencia del FAIS, el crédito simple puede destinarse a obras público-productivas y proyectos dentro de los campos de atención del banco (no solo infraestructura social).
 - **Reestructuración y Refinanciamiento³³:** fortalecimiento financiero de estados y municipios brindándoles mejores condiciones financieras y mayor liquidez.
 - **Créditos en Cuenta Corriente³⁴:** financiamiento que permite a los municipios contar con recursos que les brinden liquidez y puedan afrontar, de manera adecuada, los compromisos derivados de inversiones públicas y privadas y así tener disponibilidad de realizar proyectos productivos.

²⁹ Las reglas de operación que rigen los programas federales se actualizan en el siguiente enlace
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/reglas-de-operacion-69943>

³⁰ Puede consultarse más información sobre BANOBRAS en el siguiente enlace:
<https://www.gob.mx/banobras#acciones>

³¹ Puede consultarse más información sobre el esquema financiero BANOBRAS-FAIS en el siguiente enlace:
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/programa-banobras-fais?state=published>

³² Puede consultarse más información sobre el esquema financiero a crédito simple en el siguiente enlace :
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/credito-simple?state=published>

³³ Puede consultarse más información sobre el esquema financiero de reestructuración y refinanciamiento en el siguiente enlace:
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/reestructuracion-y-refinanciamiento?state=published>

³⁴ Puede consultarse más información sobre el esquema financiero de créditos en cuenta corriente en el siguiente enlace:
<https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/creditos-en-cuenta-corriente?state=published>

- **Financiamiento de proyectos con recursos de organismos financieros internacionales³⁵:** programa de ciudades emergentes y sostenibles junto con el BID. El programa tiene dos partes, una relativa a la preparación, análisis y diagnóstico, priorización y elaboración del plan de acción, y la otra etapa abarca la ejecución del plan de acción y el sistema de monitoreo.
- **Banco del Ahorro Nacional y Servicios Financieros (BANSEFI)³⁶:** Financia algunos proyectos en comunidades rurales de México.
- **Fondo para el Cambio Climático³⁷:** El fondo está destinado a proyectos operativos de mitigación y adaptación al cambio climático listos para ser instrumentados y está apoyado por diferentes secretarías del gobierno mexicano (SEGOB, SHCP, SEDESOL, SEMARNAT, SENER, SE, SAGARPA y SCT). Está establecido en la Ley General de Cambio Climático con el objetivo de captar y canalizar recursos financieros públicos, privados, nacionales e internacionales, para apoyar la implementación para enfrentar el cambio climático. Las acciones relacionadas con la adaptación serán prioritarias en la aplicación de los recursos del fondo. Algunos de los destinos del fondo es favorecer la recarga de mantos acuíferos, desarrollar y ejecutar acciones de mitigación de emisiones conforme a las prioridades de la Estrategia Nacional, el Programa Nacional de Cambio Climático y los programas de las Entidades Federativas en materia de cambio climático; particularmente en proyectos relacionados con eficiencia energética, desarrollo de energía renovables y bioenergéticos de segunda generación, y eliminación o aprovechamiento de emisiones fugitivas de metano y gas asociado a la explotación de los yacimientos de minerales de carbón, así como de desarrollo de sistemas de transporte sustentable.

7.1.5.2. *Financiamiento internacional*

Igual que en el caso de los diferentes tipos de financiamiento nacional, a continuación, se identifican algunos tipos de financiamiento a nivel internacional para proyectos relacionados con la medida de mitigación M1 propuesta. Algunas de las fuentes de financiamiento se dedican a proporcionar apoyo económico y otras, además, ofrecen apoyo técnico. La gran mayoría de fuentes de financiamiento que se muestran a continuación, además de proporcionar apoyo económico, también ofrecen asistencia técnica.

³⁵ Puede consultarse más información sobre el esquema financiero a crédito simple en el siguiente enlace: <https://www.gob.mx/banobras/acciones-y-programas/financiamiento-de-proyectos-con-recursos-de-organismos-financieros-internacionales-28886?state=published>

³⁶ Puede consultarse más información sobre BANSEFI en el siguiente enlace:

<https://www.gob.mx/bansefi/prensa/banco-mundial-supervisa-proyectos-financiados-via-bansefi?idiom=es>

³⁷ Puede consultarse más información sobre el Fondo para el Cambio Climático en el siguiente enlace: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259571/Convocatoria11-2017.pdf>

- **Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)³⁸:** Financian proyectos que prevengan, controlen o reduzcan contaminantes ambientales, mejoren el abastecimiento de agua potable o protejan la flora y la fauna para mejorar la salud humana, promuevan el desarrollo sustentable o contribuyan a lograr una mejor calidad de vida en la región fronteriza. En proyectos relacionados con el agua, el banco financia temas de suministro, tratamiento y distribución de agua potable, recolección, tratamiento y reutilización de aguas residuales, conservación de agua y drenaje pluvial y control de inundaciones.
 - Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF):
- **Banco de Desarrollo Alemán (KfW)³⁹:** Junto con la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) el KfW financia proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales.
- **ONU-HABITAT⁴⁰:** El programa proporciona financiamiento a países en vías de desarrollo para ofrecer acceso al agua potable y a sistemas adecuados de saneamiento del agua. El programa de Agua y Saneamiento de ONU-Habitat, bajo la responsabilidad de su subdivisión de servicios urbanos básicos, ayuda a los miembros de la ONU a alcanzar las metas en agua y saneamiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMS) con el objetivo de reducir al 2015 a la mitad la proporción de la población sin acceso sostenible al agua potable y saneamiento. Ofrecen apoyo político, técnico y financiero a gobiernos y autoridades locales para alcanzar estos objetivos acordados internacionalmente. Se enfoca en habitantes urbanos de bajos recursos con el fin de facilitar equitativamente el desarrollo social, económico y ambiental.
 - Fondo Fiduciario de Agua y Saneamiento de ONU-Habitat / Water and Sanitation Trust Fund (WSTF)
- **Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)⁴¹:** El CAF financia proyectos que promueven la cobertura de servicios de agua potable y saneamiento, manejo y protección de cuencas, riego y desarrollo agrícola, drenaje y control de inundaciones. Para ello, apoyan a los gobiernos nacionales, regionales y locales en el diseño, estructuración y financiación de proyectos de construcción, optimización y expansión de infraestructura para el acceso universal al agua potable, mediante programas de asistencia técnica que garanticen el mejoramiento progresivo de las condiciones en la prestación de servicios, especialmente para la población más vulnerable.

³⁸ Puede consultarse más información sobre el BDAN en el siguiente enlace:

<http://www.nadb.org/about/areasdeservicio.asp>

³⁹ Puede consultarse más información sobre el KfW en el siguiente enlace:

<https://www.kfw-entwicklungsbank.de/International-financing/KfW-Development-Bank/Local-presence/Latin-America-and-the-Caribbean/Mexico/>

⁴⁰ Puede consultarse más información sobre ONU-HABITAT en el siguiente enlace: <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/agua-y-saneamiento/>

⁴¹ Puede consultarse más información sobre el CAF en el siguiente enlace: <https://www.caf.com/es/>

- **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD):** Mediante su **Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)**⁴², México recibe recursos para instrumentar proyectos durante el periodo 2014-2018. Los recursos están administrados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y está implementado por el INECC.
- **Banca Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)**⁴³: Mediante su **Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)**⁴⁴ la AECID lleva a cabo proyectos relacionados con el saneamiento. Uno de los proyectos financiados por este fondo es el Proyecto de saneamiento de las zonas marginadas del valle de La Sabana del estado de Guerrero (México), donde la entidad beneficiada es la CONAGUA. Inversión realizada por el FCAS: 20.32 millones de euros y otro tanto de inversión local.
- **Banco Mundial / World Bank (WB)**⁴⁵: El financiamiento de los proyectos de inversión permite financiar una gran cantidad de actividades a largo plazo (5 a 10 años). El banco no solo suministra a los países prestatarios el financiamiento que necesitan, sino que además constituye un medio de transferencia de conocimientos y asistencia técnica.
- **Banco Interamericano de Desarrollo (BID):** El BID lleva a cabo proyectos relativos a la ampliación de cobertura de alcantarillado en México (*ver programa para la sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades rurales IV, PROSSAPYS IV*).
 - **Green Climate Fund (GCF)**⁴⁶: Es un fondo apoyado por el BID en México dirigido a la reducción de emisiones de GEI. Desarrollan proyectos para reducción de emisiones en Eficiencia Energética. México lo considera un aliado estratégico para el cumplimiento de los compromisos establecidos por el país en las NDC, actuando conjuntamente con el gobierno mexicano.
- **Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ)**⁴⁷: Junto con la Secretaría de Energía (SENER), la SEMARNAT, la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS) y la CONAGUA han publicado la “Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en PTARs”. Además, ha firmado un convenio con ANEAS para desarrollar el Programa de Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos (EnRES).

⁴² Puede consultarse más información sobre el GEF en el siguiente enlace:

<http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development/global-environmental-finance.html>

⁴³ Puede consultarse más información sobre el AECID en el siguiente enlace: <http://www.aecid.es/EN>

⁴⁴ Puede consultarse más información sobre el FCAS en el siguiente enlace:

<http://www.fondodelagua.aecid.es/es/fcas/programas/programas-del-fondo/#aut1-12>

⁴⁵ Puede consultarse más información sobre el WB en el siguiente enlace: <http://www.bancomundial.org/>

⁴⁶ Puede consultarse más información sobre el GCF en el siguiente enlace:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/210223/Green_Climate_Fund.pdf

⁴⁷ Puede consultarse más información sobre el GIZ en el siguiente enlace:

<https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html>

- **Agencia Francesa de Desarrollo (AFD):** Esta agencia desarrolla proyectos en México dirigidos a luchar contra el cambio climático, además de apoyar a México en la transición energética.
- **Agencia Danesa⁴⁸:** La agencia danesa colabora con diferentes organismos del gobierno (INECC, CONUEE, CENACE, SENER, PEMEX) mediante el Programa de Energía y Cambio Climático para apoyar a México en la implementación de las NDC del país.

Todas las fuentes de financiamiento arriba mencionadas tienen algún proyecto contratado en México relativo al tratamiento de las aguas residuales. Otras fuentes de financiamiento llevan a cabo proyectos relacionados con el tratamiento de las aguas residuales en Latinoamérica, pero no desarrollan actualmente ningún proyecto en México.

- **Centros que colaboran con la UNFCCC:**
 - **Climate Technology Centre and Network (CTCN)⁴⁹:** desarrolla tecnologías relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático en diferentes partes del mundo, incluido Latinoamérica
 - **Technology Executive Committee (TEC)⁵⁰:** trabaja junto con el CTCN en el fomento de las tecnologías relacionadas con el cambio climático. Ambas se encargan de proporcionar apoyo a países en desarrollo, sobre implementación de políticas relacionadas con tecnologías climáticas.

7.1.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida

En las NDC de México se recogen metas condicionadas y no condicionadas sobre adaptación al cambio climático, además de las ya conocidas metas sobre mitigación al cambio climático. En sus metas de adaptación no condicionadas se recogen algunas concretas relacionadas directamente con la medida de mitigación M1. Estas medidas de adaptación al cambio climático son las que siguen:

- Para la adaptación basada en ecosistemas:
 - Garantizar la gestión integral del agua en sus diferentes usos (agrícola, ecológico, urbano, industrial y doméstico): esto conlleva un tratamiento eficiente de las ARM generadas en el país. Por ello, se requiere la realización de tratamientos eficientes de dichas aguas residuales para evitar la contaminación de las masas de agua en las descargas y poder conservar la calidad de las masas de agua del país.

⁴⁸ Puede consultarse más información sobre la Agencia Danesa en el siguiente enlace:

<http://mexico.um.dk/en/government-corporation/climate-and-energy-co-operation/outcome-of-the-first-phase-of-the-energy-and-climate-programme>

⁴⁹ Puede consultarse más información sobre el CTCN en el siguiente enlace: <https://www.ctc-n.org/>

⁵⁰ Puede consultarse más información sobre el TEC en el siguiente enlace: <http://unfccc.int/ttclear/support/technology-mechanism.html>

- Para la adaptación basada en la infraestructura estratégica y sectores productivos:
 - Garantizar y monitorear el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales en asentamientos humanos mayores a 500,000 habitantes: requiere de un control de la cantidad y calidad de las aguas que son tratadas en zonas urbanas de México, con lo que es necesario establecer un sistema de monitoreo (MRV) exhaustivo por parte de las organizaciones responsables del sector de las aguas residuales.
 - Incorporar criterios de adaptación en proyectos de inversión pública que consideren construcción y mantenimiento de infraestructura: dado que la medida de mitigación propuesta podría conllevar la construcción de nuevas infraestructuras de tratamiento (PTAR y redes de alcantarillado) además de requerir de un mantenimiento eficiente de las infraestructuras existentes con el fin de garantizar un correcto tratamiento de las aguas residuales.

7.1.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida

A continuación, se muestran algunos de los co-beneficios más representativos en lo relativo a la implementación de la medida de mitigación M1 en el país.

Tabla 7. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida

Co-beneficios de la implementación de la medida de mitigación M1
• Reducción de contaminantes/carga orgánica de las masas de agua nacionales por el tratamiento en las PTAR de las aguas residuales que antes no recibían tratamiento y eran vertidas directamente a esas masas de agua contaminándolas. • Reducción de las afecciones a la salud humana dado que la contaminación de las aguas nacionales es uno de los focos principales de enfermedades humanas reconocidos, por la ingesta de aguas no potables por no cumplir con las características suficientes en cuanto a calidad. A pesar de ser conocedores de la relación directa entre las afecciones a la salud humana y la contaminación de las aguas, es difícil establecer cuantitativamente este aspecto. Por lo tanto, se considera un co-beneficio cualitativo y no cuantitativo de la implementación de la medida M1. • Generación de empleo y aumento de la competitividad de las empresas, en caso de ser gestionada por una empresa privada. • Reducción de contaminantes atmosféricos, especialmente de NH₃ por la reducción de las letrinas. • Aumento de la disponibilidad de agua que conlleva el tratamiento de las aguas residuales municipales en el país, que podría ser reutilizada en otros servicios.

- **Aumento de la calidad del paisaje** debido a la reducción de los focos de contaminación de las masas de agua el vertido de ARM sin previo tratamiento a los mismas.

7.1.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado

Las barreras en la implementación de la medida de mitigación consisten en posibles dificultades a las que el país se enfrentaría a la hora de implementar la medida. Es importante a la hora de realizar una ruta tecnológica tener identificadas las posibles barreras para así poder actuar sobre dichas dificultades a fin de alcanzar los objetivos establecidos.

A continuación, se muestra una identificación de las posibles barreras a las que México podría enfrentarse en la implementación de la medida, desglosadas en función del tipo de barrera (información, económica, tecnológica, jurídica, de planificación, geográfica y social y de capacitación).

Tabla 8. Identificación de posibles barreras en la implementación de la medida

Barreras de disponibilidad e intercambio de información
• Se han detectado problemas de intercambio de información entre los principales actores clave, por ello, será necesario establecer mecanismos efectivos para poder abordar de forma efectiva el seguimiento de esta medida. ○ Una forma de superar esta barrera sería el establecer de forma oficial los mecanismos necesarios para implementar el sistema MRV propuesto en esta consultoría (ver sección ○ Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.

Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.

INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.

Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.

CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.

GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.

G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.

Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.

Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.

SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.

World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.

SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.

Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.

Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).

FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México

IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.

Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)

M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.

CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

- Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV de este documento).

Barreras económicas/financieras

- **Elevados costos de inversión necesarios** para la ejecución de los proyectos requeridos para la implementación de la medida.
 - El reto consistiría en lograr un **sistema financiero viable y autosuficiente** para lograr la **construcción, operación, mantenimiento de las PTAR** y del monitoreo de la calidad de sus efluentes.
 - Lograr un **sistema financiero viable y autosuficiente** para lograr la **construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado**.
- **No hay posibilidad de hacer una previsión presupuestaria ni a medio plazo siquiera.** No existe una “planeación financiera” a medio/largo plazo, nunca más allá de los periodos que duran cada una de las administraciones, esto dificulta enormemente la planificación

y creación de infraestructura para cumplir con metas preestablecidas en los planes de desarrollo.
Barreras tecnológicas
• Capacidad de operación inferior a la capacidad instalada principalmente por dos motivos: ○ Debido a una falta de red de alcantarillado que canalice las ARM generadas hasta la PTAR. ○ Debido a la mala operación y/o mantenimiento de las PTAR.
Barreras jurídicas
• La medida de mitigación propuesta tiene normativa vigente relacionada con la implementación de la misma, aun así, existe una falta de aplicación de la misma. • En base al artículo 115 de la constitución, los municipios son responsables de emitir reglamentos y leyes relativos a las materias de las que son responsables. Según recoge este artículo, los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos como el agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales. Por lo tanto, dado que los municipios pueden regular con total independencia aspectos relacionados con el tratamiento y disposición de las aguas residuales, estos podrían no estar alineados con los objetivos estatales y/o federales. • La normativa que regula actualmente la operación de los organismos operadores de las plantas de tratamiento no incluye las obligaciones de registrar y transferir los datos necesarios que permitan evaluar el avance de la medida.
Barreras de planificación
• En ocasiones las plantas de tratamiento de ARM, reciben ARI. Este efluente no esperado, provoca que el proceso biológico se deteriore y opere mal la planta.
Barreras geográficas
• El problema de la red de alcantarillado, además de ser un problema económico y tecnológico, también resulta ser un problema geográfico, puesto que en algunas zonas la construcción de red de alcantarillado se hace casi imposible por las condiciones geográficas del lugar.
Barreras sociales y de capacitación
• Falta de conocimientos técnicos para la operación y mantenimiento de la planta, lo que puede derivar en una mala operación y/o mantenimiento de la misma, que se traduce en un aumento de las ARM no tratadas.

- **El cese de la operación y/o mantenimiento de las plantas por parte del organismo operador**, lo que provoca que ARM que antes estaban siendo tratadas dejen de serlo y sean vertidas a masas de agua sin un previo tratamiento.

7.1.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida

A continuación, se muestran los posibles instrumentos que podrían ser utilizados por los organismos responsables de la implementación de la medida con el fin de facilitar su ejecución. Algunos de estos instrumentos han sido extraídos de la AA2030 de México y tras su puesta en común con los actores clase, se han obtenido los instrumentos identificados para hacer frente a las barreras mencionadas en el apartado anterior.

Tabla 9. Identificación de posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida

Instrumentos institucionales
• Coordinación interinstitucional de las entidades de los 3 órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal). • Coordinación entre CONAGUA, IMTA y las Comisiones Estatales del Agua y Saneamiento de México (CEAS). • Asegurar la transparencia de la información.
Instrumentos económicos/financieros

- **Actualizar y detallar el marco jurídico de los municipios derivado de la atribución recogida en el artículo 115 de la Constitución** donde se señala que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, desarrollando así una reglamentación que incluya las bases de una alineación con los objetivos de la mitigación de emisiones de aguas residuales a nivel estatal y federal, y del registro de transferencia de información requerida por un sistema MRV diseñado e implementado para el seguimiento y análisis de los objetivos fijados.
- Establecer **tarifas realistas** que incluyan los costos relativos a todo el proceso de aguas residuales, desde su captación en alcantarillado hasta su tratamiento y posterior disposición final.
- Establecer un **reparto equitativo de los recursos** (ayudas) a los municipios con mayores necesidades, tras la identificación de las necesidades específicas de cada municipio.
- **Destinar los recursos a municipios con mayores necesidades**, mediante la realización de estudios para identificar dichas necesidades.
- **Destinar mayor financiación a aquellos municipios que estén más lejos de lograr los objetivos**, mediante la realización de estudios de identificación.
- **Alineación y coordinación entre programas** de saneamiento de ARM y empleo para lograr un beneficio mutuo.

Instrumentos legales

- **Facilitar, mediante regulación normativa/legal, que las sanciones impuestas por CONAGUA sean efectivas.** Esto podría lograrse mediante obligaciones de pago de las sanciones impuestas, o el retiro de las subvenciones recibidas a los municipios o estados que no abonen las sanciones impuestas, por el incumplimiento de los objetivos fijados.
- **Desarrollar una normativa que actualice la operación de los organismos operadores** de las PTAR para considerar los requerimientos de la contabilidad de mitigación del cambio climático.
- **Establecer políticas** para que las plantas cuenten con todos los **recursos** necesarios para su operación y mantenimiento, considerando las tarifas y los recursos federales y estatales.

Instrumentos sociales y de capacitación

- Desarrollar **programas de sensibilización** a la población.

- Promover el desarrollo de **servicios de capacitación**, evaluación y certificación para formar, capacitar, evaluar y certificar recursos humanos de los organismos y empresas operadoras del sector de las aguas residuales en sus aspectos técnicos y operativos.
- Incrementar la **vigilancia** de las descargas siguiendo con el modelo actual de la CONAGUA, junto con PROFEPA. Aunque, debido a la falta de personal, se podría estudiar la posibilidad de plantearse un modelo mixto colaborando con terceros acreditados.
- Es necesario contar con **reguladores** que se encarguen de asegurar la calidad de los servicios que se prestan y aseguren que los montos sean acordes al servicio prestado. Para ello, sería necesario especificar mediante normativa la calidad que deben alcanzar los servicios y los montos al respecto. Además, se podría destinar personal de los diferentes organismos operadores que se encargarían del cumplimiento de la calidad exigida en su servicio.

7.1.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro

Para el análisis de las opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro, se ha basado en los datos proporcionados por CONAGUA, con el fin de obtener la tendencia a futuro más realista en lo que se refiere al tratamiento de las ARM.

Entre las tendencias a futuro sobre tratamientos de ARM, las más representativas son las que se muestran a continuación:

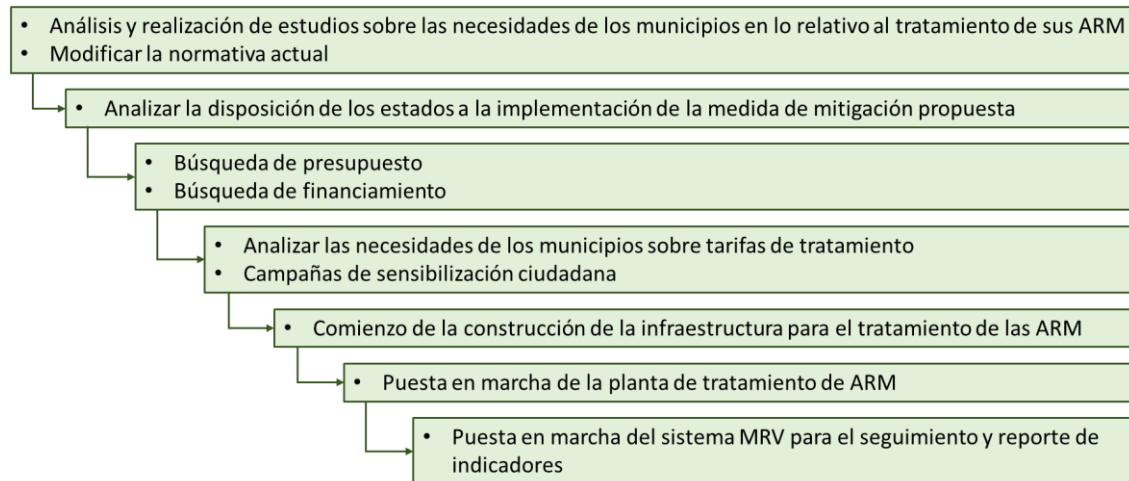
- Se muestra una clara tendencia a futuro en lo relativo al tratamiento de las ARM en PTAR mediante sistemas de tratamiento con lodos activados. Tras el tratamiento de las aguas por medio de este sistema aerobio, se procedería al tratamiento de los lodos generados durante el mismo mediante digestores anaerobios.
- Se recoge también una tendencia al uso de sistemas de tratamiento terciario de nitrificación-desnitrificación, siempre y cuando las ARM a tratar no vayan a ser reutilizadas para el riego, puesto que tras ese tratamiento éstas perderían los nutrientes que las hacen tan interesantes para estas prácticas.

7.1.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados)

El modelo de implementación de la medida de mitigación propuesta consiste en establecer el orden cronológico lógico a la implementación de la misma, teniendo en consideración los pasos necesarios a realizar.

A continuación, y de forma genérica, se muestran los pasos a dar considerados para una correcta implementación de la medida de mitigación:

Figura 21. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico.



Fuente: elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave.

Como primer paso o etapa a desarrollar para llevar a cabo la implementación de la medida de mitigación M1 consiste en llevar a cabo análisis detallados, y los correspondientes estudios de las necesidades específicas de cada uno de los municipios, respecto a la gestión de las ARM generadas en los dichos municipios. Este punto resulta ser imprescindible en la implementación de la medida, puesto que los resultados de los análisis elaborados recogerán la situación específica de cada uno de los municipios sobre cuantas ARM se generan, cuantas de esas aguas son captadas y, de ellas, cuantas son tratadas y con qué tecnologías o tipos de tratamiento. Estos estudios deberán recoger también, a nivel municipal, las barreras a las que se enfrenta de manera específica cada municipio, puesto que una de las barreras más relevante consiste en las limitaciones derivadas de la orografía, la cual varía de un municipio a otro.

De este análisis y estudio se generará información a nivel municipal de las necesidades que tengan de alcantarillado para la captación de ARM, las necesidades de mejora de la infraestructura para el tratamiento de ARM y/o las necesidades de construcción de nuevas infraestructuras para el tratamiento de ARM. Estos análisis y estudios deberán agregarse a nivel de entidades estatales, e incluso a nivel nacional, ya que las ARM generadas en municipios situados a corta distancia, aunque correspondan a estados diferentes, pueden tratarse en la misma planta. Por lo tanto, es fundamental una buena coordinación y transparencia en la información generada y un buen traspaso de la misma con objeto de poder establecer un marco cooperativo de gestión y tratamiento del agua a nivel nacional.

Al mismo tiempo que se van realizando los análisis y estudios sobre la gestión de las ARM en los municipios, se consideraría necesario modificar la normativa actual existente con el fin de establecer de forma vinculante los objetivos fijados en esta RTI. También deberían recogerse las necesidades que actualmente no están normalizadas, y que resultan fundamentales para la implementación de la medida de mitigación. Un ejemplo de esto podría ser el fijar legalmente la responsabilidad de cada organismo (actor clave) en la implementación de la medida.

El siguiente paso consistiría en llevar a cabo un análisis de la disposición de los estados a cumplir los objetivos fijados en esta medida de mitigación. Este punto resulta limitante en la implementación puesto que la buena predisposición resulta fundamental para que las acciones llevadas a cabo concluyan en el logro de los objetivos fijados. La buena disposición de los estados consiste en el nivel de compromiso que presenten en lo relativo a lograr estos objetivos. Si un estado no considera prioritario la implementación de esta medida de mitigación entre sus planes, esto debe servir para la priorización de recursos.

Una vez se han analizado las necesidades y la disposición de los estados, sería necesario comenzar la búsqueda de financiación necesaria para la implementación de la medida. La búsqueda de financiación podría realizarse en base a los presupuestos que el estado piense destinar anualmente a programas específicos (recogidos en el punto 7.1.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente), los cuales tienen como finalidad llegar a los objetivos de la medida. En función de la financiación requerida para implementar la medida y la parte que puedan cubrir los presupuestos considerados, la búsqueda de financiamiento faltante se podría basar en las fuentes identificadas en el punto: 7.1.5. Programas de financiamiento específico.

Un enfoque más social será necesario como paso siguiente. El desarrollo de nuevas infraestructuras (si fuese necesario) requiere de grandes inversiones que deberá hacer frente el estado/municipio. Para ayudar a sufragar estas inversiones se pueden proponer mecanismos de recuperación mediante tarifas de tratamiento de las ARM, las cuales se determinan teniendo en cuenta los gastos de infraestructuras, tanto de tratamiento como del transporte de las ARM, la operación de las plantas, etc. Estas tarifas dependerán del tipo de servicio prestado en cada municipio, pero su valor deberá ser determinado considerando la situación socioeconómica del lugar. Estas tarifas podrían ser recogidas por normativa para que el costo por tratamiento sea equitativo a nivel nacional, pero teniendo en cuenta criterios socio-económicos que permitan considerar las necesidades estatales/municipales específicas.

Este último punto puede ser muy controvertido entre la población, debido a que tendrán que pagar por el tratamiento de sus ARM. Para que la acogida de la población a las modificaciones sobre las ARM sea aceptada, es fundamental llevar a cabo campañas de sensibilización ciudadana en las que se muestre por qué es necesario tratar las ARM generadas, no sólo desde un punto de vista de emisiones de GEI, sino desde un punto de vista general del medio ambiente y social. Estas campañas también deberán explicar las razones por las cuales se cobran unas tarifas de tratamiento, y los beneficios que obtendrá la población por el tratamiento de sus ARM.

Una vez realizados todos los pasos anteriores, se podrá comenzar con la construcción de la infraestructura necesaria para el tratamiento de las ARM y el logro de los objetivos marcados en la medida de mitigación. Una vez construida la infraestructura se procedería a la puesta en marcha de la PTAR y el sistema MRV que ha sido elaborado en esta RTI.

7.1.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida

La línea de tiempo corresponde a los hitos a alcanzar a lo largo del periodo de implementación de la medida, tanto para el escenario potencial como para el escenario de CONAGUA.

En el caso del escenario potencial, se recoge una línea temporal desde el año 2018 hasta el año 2030, en la que se deberían alcanzar unas metas específicas para los años 2018, 2024 y 2030 de porcentaje de ARM tratadas respecto a las ARM captadas.

Tabla 10. Línea de tiempo para la implementación del escenario potencial de la medida M1.

Acción	2018	2024	2030
Tratamiento de ARM	65.24%	79.94%	95.51%

En lo que respecta al escenario de CONAGUA, la línea temporal se establecerá a partir del año 2016 (último año en el que se tienen datos reales de la cantidad de ARM tratadas respecto a captadas) hasta el año 2050. Este escenario ha sido creado a partir de los datos o expectativas de CONAGUA, que pretende aumentar en un 1.5% anual la cobertura de tratamiento hasta el 2030 y un aumento del 3% cada 6 años hasta el 2050 (aumento de un 0.5% anual).

A diferencia del escenario anterior, este escenario no recoge metas para años concretos, sino que recoge una única meta de progresión anual. Por ello, en la tabla a continuación, se muestran algunos de los porcentajes de tratamiento de ARM respecto a las ARM captadas que deben alcanzarse en los siguientes años.

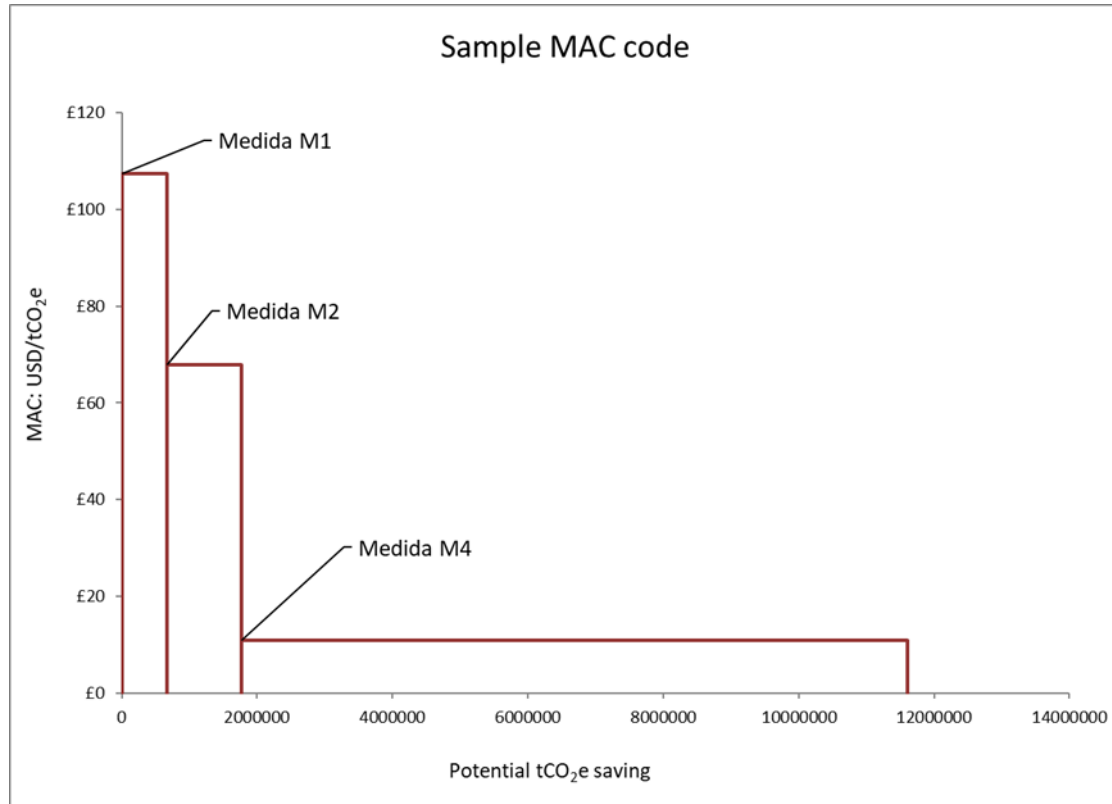
Tabla 11. Línea de tiempo para la implementación del escenario de CONAGUA propuesto para la medida M1.

Acción	2018	2020	2030	2040	2050
Tratamiento de ARM	60.59%	63.59%	78.59%	83.59%	88.59%

7.1.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV

Información disponible en

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir

- de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)
- INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016
- CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.
- CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).
- Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.

- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.
- SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.
- Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.
- H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.
- SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.
- Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.
- INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011
- SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.
- CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.
- M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.
- Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV) de este documento.

7.1.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto

Información disponible en **Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo** de este documento.

7.1.15. Potencial de abatimiento de la medida

El potencial de abatimiento de la medida de mitigación consiste en la cantidad de emisiones de GEI que son reducidas respecto al escenario BaU del sector de las aguas residuales, sobre sus emisiones de aguas residuales municipales.

Para ello, en la Tabla 12, se muestran las reducciones de los escenarios propuestos en esta medida de mitigación M1 respecto a las emisiones de GEI del BaU.

Tabla 12. Potencial de abatimiento de los escenarios potencial y CONAGUA, así como sus sub-escenarios planteados, en la medida de mitigación M1 respecto a las emisiones de GEI proyectadas en el BaU.

	2020	2030	2040	2050
Reducción de emisiones del Escenario Potencial respecto al BaU	1.60%	6.76%	-	-
Reducción de emisiones del Escenario Potencial de Eficiencia Máxima respecto al BaU	10.47%	15.30%	-	-
Reducción de emisiones del Escenario CONAGUA respecto al BaU	0.25%	2.11%	0.53%	- 1.85% ¹
Reducción de emisiones del Escenario CONAGUA de Eficiencia Máxima respecto al BaU	8.90%	10.86%	9.28%	7.09%

Tabla 13. Reducción de emisiones de GEI de los escenarios propuestos en la medida de mitigación M1 respecto a las emisiones establecidas en el escenario BaU.

Escenario	Sector IPCC en el que computa	2020	2030	2040	2050
(GgCO ₂ eq/año)					
Escenario Potencial (Esc. 1)	Sector residuos (aguas residuales)	81.81	341.16	-	-
Escenario Potencial de Eficiencia Máxima (Esc. 1.1)		535.34	772.46	-	-
Escenario CONAGUA (Esc. 2)		12.88	106.59	26.88	-91.30
Escenario CONAGUA de		455.44	548.57	468.73	350.56

**Eficiencia Máxima
(Esc. 2.1)**



7.1.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida

Las metas de reducción de emisiones de GEI condicionadas y no condicionadas recogidas en los compromisos de las NDC de México se han establecido como una reducción en porcentaje del total de las emisiones generadas en el país, sin segregaciones entre los diferentes sectores identificados en el Inventario Nacional.

Sin embargo, tanto la 5ª Comunicación Nacional como el BUR de México, recogen las reducciones de emisiones previstas a 2030 desglosadas por sector (ver Figura 3). En dicha figura se observa una reducción prevista de las emisiones del sector residuos, en el que se encuentra el subsector de las aguas residuales, de aproximadamente un 28.6% de las emisiones proyectadas en el escenario BaU al año 2030. La reducción total a 2030 se estima en un 22% respecto al escenario BaU estimado a dicho año.

Dado que la línea base empleada en la NDC y 5ª Comunicación Nacional es diferente a la que actualmente se tiene en México, actualizada con la 6ª Comunicación Nacional, los datos de reducción de emisiones alcanzables por la implementación de las medidas propuestas en este documento no son comparables con la línea base de la NDC y, por tanto, solo pueden compararse con la línea base determinada en esta consultoría para el sector aguas residuales. Tampoco se puede determinar qué porcentaje de emisiones se podría lograr mitigar con respecto al sector residuos (residuos sólidos + aguas residuales) puesto que en esta consultoría se desconoce la nueva línea base a 2030 del sector residuos.

Cabe mencionar que, tal y como se ha comentado anteriormente, la reducción de emisiones lograda por la implementación de esta medida M1 correspondería totalmente al sector de las aguas residuales.

En la sección 0

de este documento puede observarse un análisis del potencial de mitigación conjunto de las 4 medidas respecto a la línea base (escenario BaU) planteada por esta consultoría para el sector aguas residuales.

7.1.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida

Uno de los temas más importantes cuando se analiza el tema de la mitigación del cambio climático es conocer el costo económico estimado para alcanzar un “desarrollo de bajo carbono”, así como

los costos de cada una de las alternativas o medidas de mitigación individuales que pueden implementarse en los diferentes sectores de la economía.

En este sentido, las “curvas de costos de abatimiento” (CCA) representan una herramienta sumamente útil para analizar la economía del cambio climático ya que permiten observar de manera gráfica los costos de abatimiento de emisiones, así como el potencial de abatimiento de cada una de las medidas de mitigación.

El costo de abatimiento se define como el costo económico de reducir una unidad de emisiones de CO₂e expresado, generalmente, en dólares americanos o euros por tonelada de CO₂e reducida. El potencial de abatimiento, por su parte, es la reducción total de emisiones de CO₂e que se produciría al aplicar la medida correspondiente.

El costo total de una PTAR consiste en el costo de inversión de la infraestructura necesaria para el tratamiento de las aguas residuales y, por otra parte, el costo necesario para la operación de la planta, que consiste en el costo salarial de los trabajadores necesarios para la operación de la planta y el costo por el consumo energético requerido por la planta.

El cálculo de los costos marginales de cada una de las medidas de mitigación priorizadas en esta RTI se ha elaborado en base a la información proporcionada por el IMTA a través de un documento denominado “Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales”.

Para la estimación de la inversión necesaria para la construcción de la infraestructura requerida para el tratamiento de las aguas residuales, el documento elaborado por el IMTA recoge gráficos y ecuaciones paramétricas para 6 sistemas de tratamiento de ARM que relacionan el costo de inversión requerido para el tratamiento de un caudal concreto de ARM para cada sistema de tratamiento identificado. A través de estas ecuaciones puede determinarse la inversión necesaria para cada sistema de tratamiento.

Figura 22. Ecuaciones para la obtención de la inversión necesaria en infraestructuras para el tratamiento de las ARM en diferentes sistemas de tratamiento

Tratamiento	Curva	Correlación	Ecuación de la curva
Primario avanzado	Potencial	0.9246	$INV = 1,272 Q^{0.6843}$
Lodos activados	Potencial	0.9269	$INV = 1,032.4 Q^{0.7633}$
Filtro biológico	Potencial	0.9489	$INV = 319.6 Q^{0.964}$
Lagunas aeradas	Logarítmica	0.8244	$INV = -184,430 + 47,677 \ln Q$
Lagunas de estabilización	Potencial	0.9088	$INV = 740 Q^{0.6928}$
Wetland	Logarítmica	0.9146	$INV = -1,722.7 + 3453.2 \ln Q$

Fuente: IMTA, CONAGUA, 2002, “Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales”.

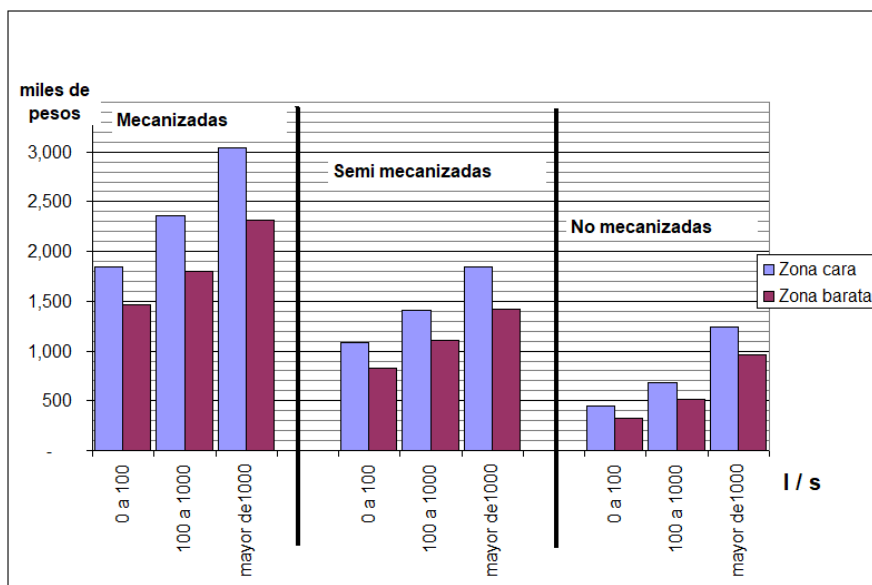
Dado que el inventario nacional de emisiones de GEI distingue 26 sistemas de tratamiento diferentes, frente a los 6 distinguidos en la tabla anterior, se decide asignar la siguiente relación entre tratamientos:

Tabla 14. Relación entre los sistemas de tratamiento identificados por el IMTA en su documento para la aplicación de los costos de PTARs respecto a los sistemas identificados en el inventario nacional.

Tratamientos IMTA		Tratamientos Inventario Nacional	
Primario avanzado	Primario avanzado		
	Sedimentación + Wetland		
	Primario o Sedimentación		
Lodos activados	Lodos activados mal gestionados		
	Lodos activados bien gestionados		
Filtro biológico	Filtros Biológicos o Rociadores		
	Biológico		
	Discos biológicos o Biodiscos		
Lagunas aeradas	Dual		
	Zanjas de oxidación		
	Lagunas aireadas		
	Aerobio		
Lagunas de estabilización	Lagunas de estabilización	Rafa + Wetland	
	Tanque séptico o Fosa séptica	Anaerobio	
	Tanque imhoff	Reactor enzimático	
	Rafa + Filtro biológico	Fosa séptica + Wetland	
	Fosa séptica + Filtro biológico	Tanque imhoff + Wetland	
	Tanque imhoff + Filtro biológico	Otro	
	Rafa o Wasb		
Wetland	Humedales (Wetland)		

Para establecer los costos salariales hay que tener en cuenta 3 factores, por una parte, la zona económica en la que se encuentra situada la PTAR (cara o barata), por otra parte, el grado de mecanización que tiene la planta (mecanizadas, semi mecanizadas y no mecanizadas), y la capacidad de la planta. Para el cálculo de los costos salariales de la medida de mitigación, se ha decidido tomar un coste salarial común para todas las plantas que operan, con una capacidad entre 100 y 1000 l/s en base a un valor promedio según los datos disponibles a año 2016 de CONAGUA (listado PTARs), y para un costo intermedio entre las zonas cara y la barata. En la siguiente figura se representa de manera gráfica la relación de costos para la obtención de los costos salariales.

Figura 23. Nómina anual para plantas de tratamiento de aguas residuales.

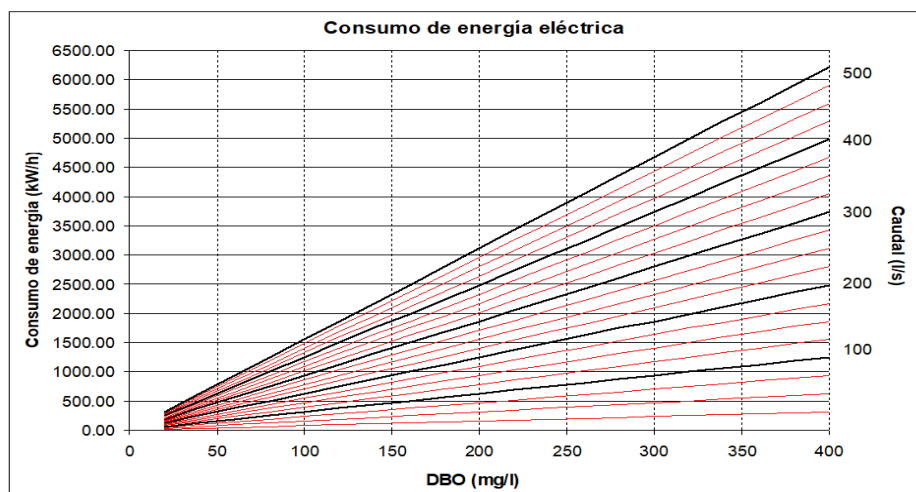


Fuente: IMTA, CONAGUA, 2002, "Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales".

Teniendo en cuenta lo especificado en el párrafo anterior, el costo salarial anual para el supuesto considerado es de 2,075,000 MXN/año.

En lo que respecta a los costos por consumo energético de la planta, se ha tomado como base la gráfica que se muestra a continuación, y se ha supuesto un valor de 200 mg DBO/l (establecido como valor promedio de los datos reales disponibles a nivel nacional) y una capacidad de tratamiento de 500 l/s.

Figura 24. Gráfica para la obtención del consumo de energía requerido en base al caudal tratado y la cantidad de DBO de las aguas residuales.



Considerando estos datos en el gráfico anterior, se obtiene un valor de consumo de energía de 3,000 kWh. Por otra parte, el documento elaborado por el IMTA recoge un costo por consumo de 0.7043 USD/kWh.

Una vez establecidas las ecuaciones para el cálculo de la inversión necesaria, y los parámetros necesarios para la obtención de los costos salariales y por consumo energético, se procede al cálculo de los costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M1 al año 2030.

La metodología utilizada para el cálculo de estos costos marginales consiste en establecer la capacidad instalada de las PTAR al año 2016 (datos reales reportados por CONAGUA), el volumen de ARM tratada a 2030 según se ha establecido en el escenario BaU, y el volumen de ARM tratada según se ha establecido en el escenario CONAGUA de la medida de mitigación M1, para cada uno de los sistemas de tratamiento. En base a esta información, se toman las siguientes consideraciones:

- Si el volumen de ARM a tratar por cada tipo de tratamiento en el año 2030 del escenario BaU, es mayor a la capacidad instalada al 2016, se ha considerado que se requieren infraestructuras adicionales, pero son infraestructuras debidas a la tendencia “natural” del escenario BaU y, por tanto, son inversiones en infraestructuras que ya han sido llevadas a cabo por quién corresponda como parte del escenario BaU.
- Si, por el contrario, el volumen de ARM a tratar es inferior a la capacidad instalada al 2016, entonces se conservará el valor de la capacidad instalada, puesto que se supone que las PTAR existentes podrán hacer frente al tratamiento de más ARM.

A continuación, se procede al cálculo de la diferencia de volumen entre los volúmenes antes obtenidos (explicados en el párrafo anterior) y los volúmenes requeridos de tratamiento de ARM por la implementación de la medida M1. Aquellas diferencias que salgan positivas implican la

existencia de un caudal a tratar adicional al escenario BaU para lograr implementar la medida M1, y ese caudal requerirá de una inversión en infraestructuras que se deberán únicamente a la implementación de la medida M1, que es lo que debe reflejarse en estos costos marginales.

Tomando estos volúmenes como base, y usándolos en base a la ecuación para la obtención de la inversión necesaria, además de establecer una relación entre los caudales supuestos para la obtención de costos salariales y consumo energético, y el caudal a instalar, se obtendrían los costos para cada una de las partidas (inversión fija de infraestructuras, salarios, y consumo energético).

Por otra parte, se debe considerar la cantidad total acumulada de emisiones reducidas por la implementación de la medida de mitigación desde el año 2016 hasta el año 2030. Se toma como base la cantidad acumulada de emisiones debido a que los costos obtenidos no se obtienen para un único año (2030) si no que el desembolso se realiza a lo largo de los 15 años de estudio (2030 – 2016).

Figura 25. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M1

2030					
	CAUDALES		INVERSIÓN	COSTOS	
	Q a instalar (m3/año)	Q a instalar (L/s)		Salarios	Consumo energía
Lodos Activados	278,804,752.95	8,840.84	1,062,200,581.84 MXN	18,344,744.49 MXN	745,324.51 MXN
Humedales (Wetland)	5,619,134.86	178.18	16,174,556.15 MXN	369,726.81 MXN	15,021.55 MXN
Filtro biológico (sistemas biológicos)	25,787,946.19	817.73	205,287,711.68 MXN	1,696,790.60 MXN	68,938.53 MXN
Primario Avanzado	20,504,733.94	650.20	107,017,681.30 MXN	1,349,166.76 MXN	54,814.99 MXN
Lagunas estabilización (sistemas anaerobios)	3,133,427.21	99.36	17,901,972.60 MXN	206,172.67 MXN	8,376.54 MXN
TOTAL	333,849,995.15	10,586.31	1,408,582,503.58 MXN	21,966,601.34 MXN	892,476.12 MXN
Costo total (MXN)	1,431,441,581.04 MXN				
Emisiones reducidas (t CO ₂ eq)	668,195.56				
Costo marginal (MXN/t CO ₂ eq)	2,142.25 MXN				
Costo marginal (\$/t CO ₂ eq)	107.38 USD				

La curva de costo marginal que recoge las 4 medidas de mitigación planteadas en esta RTI se muestra en la sección 0.

7.2. Medida de mitigación M2: Sustitución, en base al caudal de ARM captadas, de los sistemas anaerobios por sistemas aerobios

7.2.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida

La medida de mitigación M2 consiste en promover la sustitución de los sistemas de tratamiento anaerobio (fosas sépticas y similares) de ARM por sistemas de tratamiento aerobios. Esta medida se propone con objeto de complementar la medida M1, la cual se centra en aumentar el porcentaje de agua tratada respecto a la captada, y lograr una mayor reducción de emisiones puesto que, en

términos de generación de GEI, las fosas sépticas, tanques imhoff, y lagunas anaerobias, junto con otros sistemas anaerobios de tratamiento, son los tratamientos con mayores emisiones.

Puesto que la medida de mitigación M2 es una medida adicional a la anterior medida M1, significa que se parte de uno de los supuestos establecidos en la anterior medida para añadir un supuesto nuevo en esta. El supuesto del que se parte es la cobertura de tratamiento prevista por CONAGUA en la medida M1, por lo tanto, se parte de los datos del escenario de CONAGUA analizado en la medida M1.

Al igual que en la medida M1, en esta medida de mitigación también se supondrá una tendencia hacia el uso de sistemas de tratamiento mediante lodos activados. Por otra parte, en base a las aportaciones de los actores clave que han participado en la elaboración del presente documento, se especifica que dicha tendencia a la utilización de lodos activados únicamente se da en zonas urbanas, mientras que las zonas rurales tienden a utilizar humedales en el tratamiento de sus ARM. Por ello, y con el fin de obtener unas reducciones de emisiones de GEI por la implementación de la medida lo más cercanas a la realidad posible, se ha tenido en consideración esta aportación en dos escenarios propuestos para la medida de mitigación M2.

La medida de mitigación se pretende ejecutar a partir del año 2019 (teniendo en cuenta que el último año del que se disponen de datos reales es el año 2016) concluyendo el año 2050.

7.2.2. Escenarios propuestos para la medida

En la implementación de la medida de mitigación M2 se proponen dos escenarios diferentes, que serán utilizados para estudiar las reducciones de emisiones de GEI debidas a su implementación.

En la tabla a continuación se muestra de forma resumida lo que será expuesto con mayor detalle en los apartados siguientes sobre los escenarios propuestos para la implementación de la medida M2.

En ambos escenarios se toma como base el escenario con las previsiones de CONAGUA sobre la cobertura de tratamiento de la medida de mitigación M1 (Escenario 2 – Escenario CONAGUA).

Tabla 15. Resumen de escenarios propuestos para la implementación de la medida de mitigación M2.

Nombre del escenario	Descripción / Objetivos
Escenario 1 – Escenario Potencial	Este escenario se basa en reducir al máximo posible (0.0%), respecto a las ARM tratadas, los grados de utilización de las tecnologías anaerobias para el año 2050. Los porcentajes de ARM tratadas respecto a las ARM captadas considerados de situación de partida son los establecidos en el escenario CONAGUA de la medida M1. El planteamiento es que, en zonas urbanas, estos tratamientos anaerobios vayan pasando hacia tratamientos por lodos activados bien gestionados. Por otro lado, en zonas rurales, el planteamiento es que estos tratamientos

	anaerobios pasan a tratamientos mediante humedales (tratamientos más ajustados a las posibilidades reales que ofrecen las zonas rurales frente a las urbanas).
Escenario 2 – Escenario Conservador	Este escenario se plantea como una alternativa más conservadora que el escenario 1, planteando reducir a la mitad (50%), respecto a las ARM tratadas, los grados de utilización de las tecnologías anaerobias para el año 2050. Los porcentajes de ARM tratadas respecto a las ARM captadas considerados de situación de partida son los establecidos en el escenario CONAGUA de la medida M1. El planteamiento es que, en zonas urbanas, estos tratamientos anaerobios vayan pasando hacia tratamientos por lodos activados bien gestionados. Por otro lado, en zonas rurales, el planteamiento es que estos tratamientos anaerobios pasan a tratamientos mediante humedales (tratamientos más ajustados a las posibilidades reales que ofrecen las zonas rurales frente a las urbanas).

A continuación, se exponen de forma más detallada cada uno de los escenarios propuestos.

7.2.2.1. *Escenario Potencial*

El escenario potencial recoge una situación en la que se propone sustituir la totalidad de sistemas de tratamiento anaerobio, como fosas sépticas y similares, para sustituirlos por sistemas aerobios, para el año 2050. Tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, los sistemas aerobios utilizados en zonas urbanas comprenden los lodos activados bien gestionados, mientras que los utilizados en zonas rurales se basan en humedales. Por ello, se propone reducir anualmente (hasta alcanzar un valor nulo de utilización en el 2050) de los sistemas anaerobio y traspasar la utilización reducida a sistemas mediante lodos activados bien gestionados y humedales dependiendo de la zona a la que daba servicio dicho sistema de tratamiento (urbana o rural).

Los sistemas de tratamiento de ARM anaerobios que han sido identificados para ser eliminados al año 2050 han sido: **Lagunas de estabilización, Tanque séptico o fosa séptica, Tanque imhoff, RAFA + filtro biológico, Fosa séptica + filtro biológico, Tanque imhoff + filtro biológico, RAFA o WASB, RAFA, WASB + Humedal, Sedimentación + wetland, Anaerobio, Fosa séptica + wetland, Tanque imhoff + wetland y Otros sistemas.** Existen otros sistemas de tratamiento anaerobios que tratan las ARM captadas en el país, pero tienen un grado de utilización muy pequeño en comparación con los anteriores, por ello, se supone que estos tratamientos no llegarán a alcanzar valores nulos al 2050. Todos los grados de utilización de estos sistemas de tratamiento (cantidad de ARM que son tratadas mediante estos sistemas de tratamiento) se establecen como nulos para el año 2050 y se calcula una reducción lineal desde el año 2017 (inclusive) hasta alcanzar su valor nulo en el año 2050.

Se establece que toda la cantidad de ARM que dejan de ser anualmente tratadas en estos sistemas anaerobios arriba mencionados, pasan a recibir un tratamiento mediante lodos activados bien

gestionados en zonas urbanas y mediante humedales en zonas rurales. Para ello, se propone un traspaso de los grados de utilización (porcentajes) que se reducen anualmente de los tratamientos anaerobios al tratamiento en lodos activados bien gestionados o humedales, con lo que estos tratamientos alcanzarían un valor significativamente superior en el año 2050.

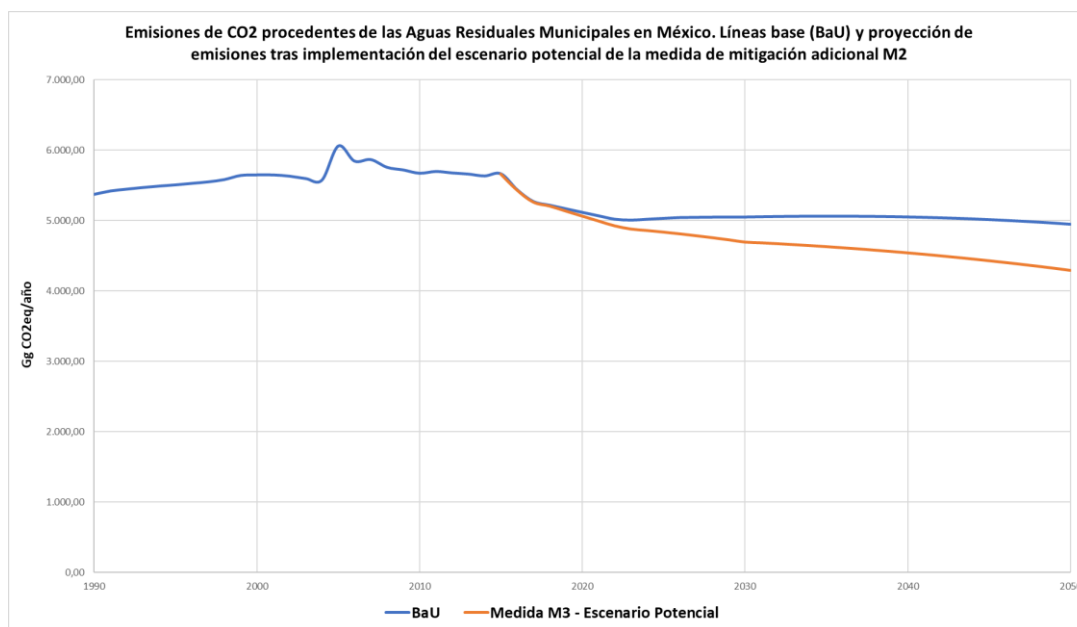
En lo que respecta al resto de tratamientos diferentes a los arriba mencionados, a los lodos activados bien gestionados y a los humedales, se mantienen igual que en las previsiones establecidas en el BaU.

Dicho esto, se obtienen algunos datos representativos tras el desarrollo de la medida de mitigación respecto a la evolución de los grados de utilización de los diferentes sistemas de tratamiento de ARM.

Al llevar a cabo esta sustitución de todos los sistemas de tratamiento anaerobio utilizados para el tratamiento de las ARM nacionales por tratamientos más eficientes y con un menor potencial de generación de metano, se logra reducir las emisiones de GEI debidas al tratamiento de las ARM.

De esta manera, la gráfica a continuación muestra la evolución de las emisiones de GEI tras la implementación del escenario potencial propuesto para la medida de mitigación M2 en comparación con las emisiones proyectadas en el escenario BaU.

Figura 26. Evolución de las emisiones de GEI del escenario potencial de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.



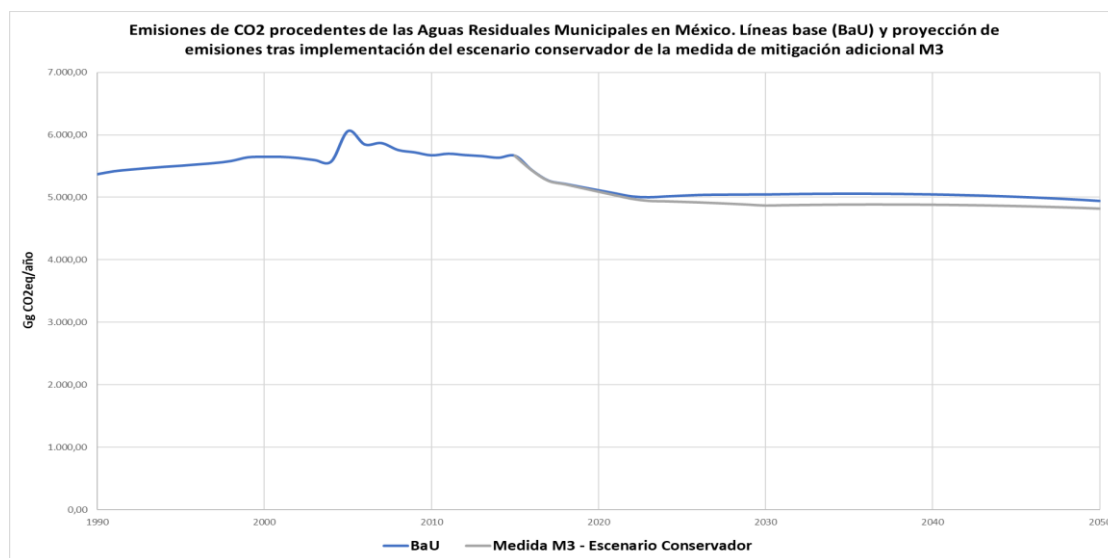
Fuente: elaboración propia.

7.2.2.2. Escenario Conservador

El escenario conservador propuesto como segunda alternativa en la implementación de la medida de mitigación M2 es muy similar al escenario anterior. La única variación reside en el porcentaje de utilización de los sistemas de tratamiento anaerobio para el año 2050. Mientras que en el escenario potencial anterior se proponía eliminar el total de los sistemas anaerobios (tratamientos especificados en el escenario potencial y que continúan siendo los mismos en este escenario), en el escenario conservador se propone reducir a la mitad los grados de utilización de esos sistemas de tratamiento respecto a los valores del año 2016.

A continuación, se muestra la gráfica que recoge la diferencia de la cantidad de emisiones de GEI relativas al sector de las aguas residuales según el BaU y el escenario conservador de la medida de mitigación M2.

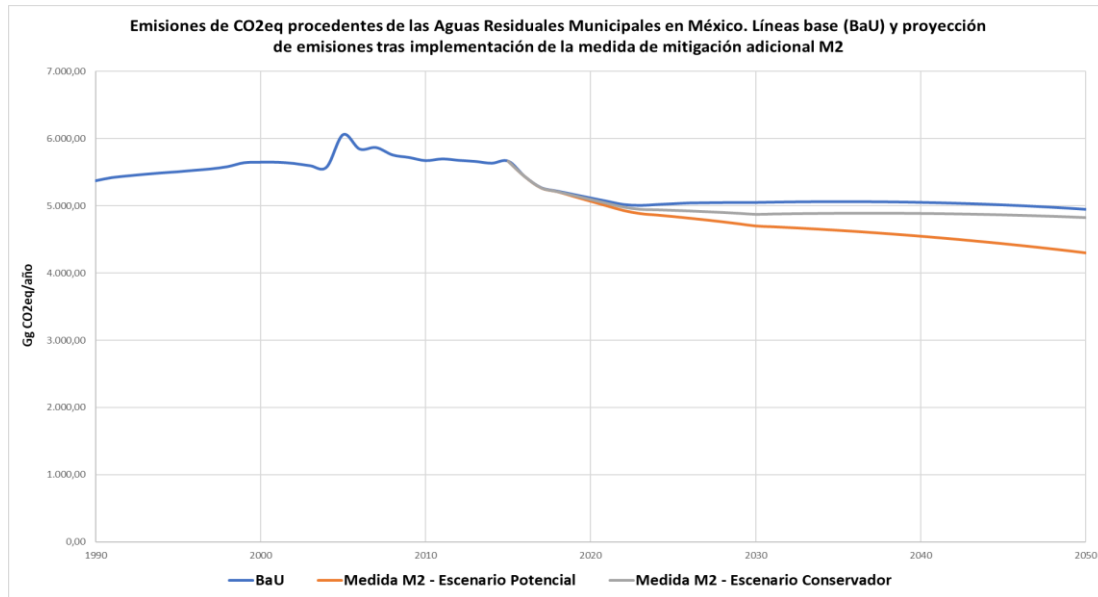
Figura 27. Evolución de las emisiones de GEI del escenario conservador de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.



Fuente: elaboración propia.

Comparando ambos escenarios, y como cabe esperar, las reducciones respecto a las emisiones de GEI proyectadas en el BaU, son menores en el escenario conservador que en el escenario potencial. En la imagen a continuación se muestra de forma más visual la diferencia de la reducción de emisiones por la implementación de cada uno de los escenarios. Más adelante se expondrán de forma más detallada dichas reducciones.

Figura 28. Evolución de las emisiones de GEI de los dos escenarios propuestos en la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones calculadas en el escenario BaU.

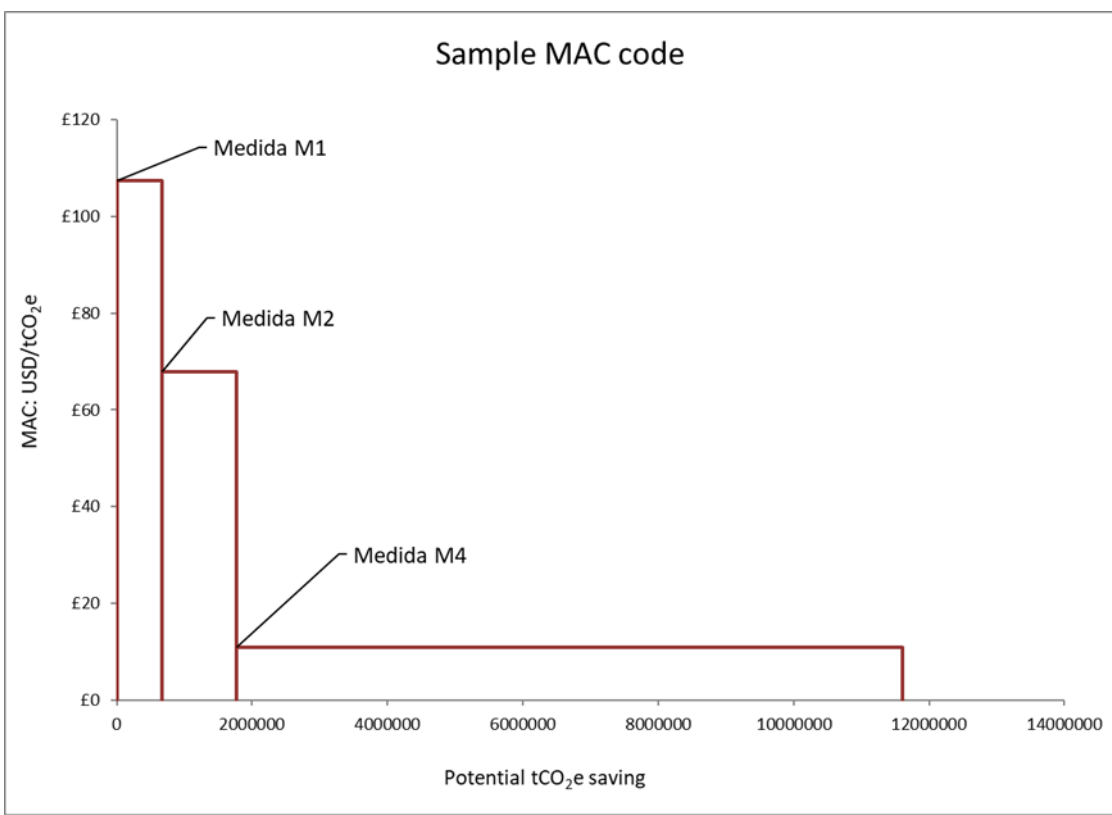


Fuente: elaboración propia.

7.2.3. Actores responsables de la medida

La CONAGUA es el ente nacional responsable del seguimiento de la cobertura de tratamiento de las aguas residuales municipales. Para este seguimiento, CONAGUA se apoya en los organismos operadores de las PTAR para la obtención de los datos necesarios. La relación entre actores responsables se recoge con más detalle en la sección relativa al sistema MRV de esta medida (ver

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.
- SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.
- Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

- H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.
- SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.
- Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.
- INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)) de este documento).

7.2.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente

En lo que respecta a normativa y políticas nacionales relativas a los sistemas de tratamiento anaerobios para el tratamiento de ARM, actualmente México no cuenta con ninguna política o normativa al respecto. Por esa razón, es necesario generar líneas de acción específicas para la implementación de esta medida de mitigación a nivel nacional.

Dado que la medida de mitigación M2 actúa como medida adicional a la medida M1, es necesario en este punto tener en consideración las normativas y políticas relativas a la anterior medida de mitigación M1 (ver 7.1.4 *Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente*).

7.2.5. Programas de financiamiento específico

No existen en la actualidad programas de financiamiento específico para la sustitución de fosas sépticas por otro tipo de sistemas de tratamiento, de todas formas, la medida consiste, de forma genérica en la sustitución de un tipo de sistemas por otros más eficientes. Esto significa que se requerirá la construcción de alcantarillado y rehabilitación y/o construcción de PTAR para que estas traten las ARM que pasan de ser tratadas en sistemas anaerobios a ser tratadas mediante lodos activados o humedales según el tipo de zona. Estas acciones para la implementación de la medida de mitigación M2, pueden ser financiadas por las fuentes de financiamientos identificadas en la medida de mitigación M1 (ver 7.1.5 *Programas de financiamiento específico*).

7.2.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida

En las NDC de México se recogen metas condicionadas y no condicionadas sobre adaptación al cambio climático, además de las ya conocidas metas sobre mitigación al cambio climático. Dado que la medida de mitigación M2, es una medida adicional a la medida M1 propuesta, las sinergias con las metas de adaptación recogidas en las NDC de México serán las mismas para ambas.

- Para la adaptación basada en ecosistemas:
 - Garantizar la gestión integral del agua en sus diferentes usos (agrícola, ecológico, urbano, industrial y doméstico): esto conlleva un tratamiento eficiente de las ARM generadas en el país tanto procedentes de procesos industriales como de los hogares. Por ello, se requiere la realización de tratamientos eficientes de dichas aguas residuales para evitar la contaminación de las masas de agua en las descargas y poder conservar la calidad de las masas de agua del país.

- Para la adaptación basada en la infraestructura estratégica y sectores productivos:
 - Garantizar y monitorear el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales en asentamientos humanos mayores a 500,000 habitantes: requiere de un control de la cantidad y calidad de las aguas que son tratadas en zonas urbanas de México, con lo que es necesario establecer un sistema de monitoreo (MRV) exhaustivo por parte de las organizaciones responsables del sector de las aguas residuales.
 - Incorporar criterios de adaptación en proyectos de inversión pública que consideren construcción y mantenimiento de infraestructura: la medida de mitigación propuesta podría conllevar la construcción de nuevas infraestructuras de tratamiento (PTAR y redes de alcantarillado) además de requerir de un mantenimiento eficiente de las infraestructuras existentes con el fin de garantizar un correcto tratamiento de las aguas residuales.

7.2.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida

La medida de mitigación M2, se basa en las acciones propuestas en la medida de mitigación M1, además de considerar una sustitución entre tipos de sistemas de tratamiento de ARM. Por ello, en líneas generales, la implementación de ambas medidas es similar, con lo que se lograrían co-beneficios similares a los establecidos en la medida M1.

Tabla 16. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida

Co-beneficios de la implementación de la medida de mitigación M2
• Reducción de contaminantes/carga orgánica de las masas de agua nacionales por el tratamiento en las PTAR de las aguas residuales que antes no recibían tratamiento y eran vertidas directamente a esas masas de agua contaminándolas. • Reducción de las afecciones a la salud humana dado que la contaminación de las aguas nacionales es uno de los focos principales de enfermedades humanas reconocidos, por la ingesta de aguas no potables por no cumplir con las características suficientes en cuanto a calidad. A pesar de ser conocedores de la relación directa entre las afecciones a la salud humana y la contaminación de las aguas, es difícil establecer cuantitativamente este aspecto. Por lo tanto, se considera un co-beneficio cualitativo y no cuantitativo de la implementación de la medida M2. • Generación de empleo y aumento de la competitividad de las empresas, en caso de ser gestionada por una empresa privada. • Reducción de contaminantes atmosféricos, especialmente de NH₃ por la reducción de las letrinas.

- **Aumento de la disponibilidad de agua** que conlleva el tratamiento de las aguas residuales municipales en el país, que podría ser reutilizada en otros servicios.
- **Aumento de la calidad del paisaje** debido a la reducción de los focos de contaminación de las masas de agua el vertido de ARM sin previo tratamiento a los mismos.

7.2.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado

A continuación, se muestra una identificación de las posibles barreras a las que México podría enfrentarse en la implementación de la medida de mitigación M2, como medida adicional a la medida de mitigación M1. Las barreras en la implementación de las medidas de mitigación M2 son muy similares a las barreras recogidas en la implementación de la medida M1, puesto que el mayor desafío de esta medida es hacer frente a la inversión que supone la implementación de la medida.

Tabla 17. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida

Barreras de disponibilidad e intercambio de información
• Se han detectado problemas de intercambio de información entre los principales actores clave, por ello, será necesario establecer mecanismos efectivos para poder abordar de forma efectiva el seguimiento de esta medida. ○ Una forma de superar esta barrera sería el establecer de forma oficial los mecanismos necesarios para implementar el sistema MRV propuesto en esta consultoría (ver sección ○ Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.

Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.

INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.

Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.

CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.

GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.

G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.

Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.

Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.

SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.

World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.

SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.

Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.

Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).

FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México

IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.

Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)

M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.

CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

- Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV de este documento).

Barreras económicas/financieras

- **Elevados costos de inversión necesarios** para la ejecución de los proyectos requeridos para la implementación de la medida.
 - El reto consistiría en lograr un **sistema financiero viable y autosuficiente** para lograr la **construcción, operación, mantenimiento de las PTAR** y del monitoreo de la calidad de sus efluentes.
 - Lograr un **sistema financiero viable y autosuficiente** para lograr la **construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado**.
- **No hay posibilidad de hacer una previsión presupuestaria ni a medio plazo siquiera.** No existe una “planeación financiera” a medio/largo plazo, nunca más allá de los periodos que duran cada una de las administraciones, esto dificulta enormemente la planificación y creación de infraestructura para cumplir con metas preestablecidas en los planes de desarrollo.
- La mayor parte de la población que hace uso de sistemas de tratamiento anaerobio de ARM como fosas sépticas o similares se encuentra situada en zonas rurales, lo que complica aún más la implementación de la medida desde un punto de vista financiero, ya que los **costos de construcción de alcantarillado hasta zonas remotas son mucho más elevados**.

Barreras tecnológicas

- La **capacidad instalada de las PTAR existentes** es **insuficiente** para el tratamiento de las ARM que anteriormente eran tratadas en sistemas anaerobios.
- La mayor parte de la población que hace uso de sistemas de tratamiento de ARM en fosa séptica se encuentra situada en zonas rurales, lo que complica aún más la implementación de la medida desde un punto de vista tecnológico, ya que la **construcción de la red de alcantarillado** hasta esas zonas es **mucho más compleja**.

Barreras jurídica

- La medida de mitigación propuesta no tiene una normativa específica que recoja las necesidades de fomentar otro tipo de tratamientos de ARM distintos a las fosas sépticas.
- En base al artículo 115 de la constitución, los municipios son responsables de emitir reglamentos y leyes relativos a las materias de las que son responsables. Según recoge este artículo, los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos como el agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales. Por lo tanto, dado que **los municipios pueden regular** con total independencia **aspectos relacionados con el tratamiento y disposición de las aguas residuales**, estos **podrían no estar alineados con los objetivos estatales y/o federales**.
- La normativa que regula actualmente **la operación de los organismos operadores** de las plantas de tratamiento no incluye las obligaciones de registrar y transferir los datos necesarios que permitan evaluar el avance de la medida.

Barreras geográficas

- Una de las acciones más complicadas y a la vez indispensable en la implementación de la medida M2, es el aumento de la red de alcantarillado para canalizar las ARM que eran tratadas en los sistemas anaerobios hasta PTAR donde vayan a recibir un tratamiento más eficiente. El problema de la **red de alcantarillado**, además de ser un problema económico y tecnológico, también resulta ser un problema geográfico, puesto que en algunas zonas la construcción de red de alcantarillado se hace casi imposible por las condiciones geográficas del lugar, precisamente las zonas en las que se requerirían mayores esfuerzos para el logro de los objetivos fijados en esta medida.

Barreras sociales y de capacitación

- **Desconocimiento de la población sobre los beneficios** que presenta la red de alcantarillado frente al tratamiento de las ARM en fosas sépticas.
 - Negativa de la población a la sustitución de sus fosas sépticas por sistemas de tratamiento aerobio (mediante recolección de sus ARM generadas mediante alcantarillado).

7.2.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida

A continuación, se muestran los posibles instrumentos que podrían ser utilizados por los organismos responsables de la implementación de la medida con el fin de facilitar su ejecución.

Tabla 18. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida

Instrumentos institucionales
• Coordinación interinstitucional de las entidades de los 3 órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal). • Coordinación entre CONAGUA, IMTA y las Comisiones Estatales del Agua y Saneamiento de México (CEAS). • Asegurar la transparencia de la información.
Instrumentos económicos/financieros

- **Actualizar y detallar el marco jurídico de los municipios derivado de la atribución recogida en el artículo 115 de la Constitución** donde se señala que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, desarrollando así una reglamentación que incluya las bases de una alineación con los objetivos de la mitigación de emisiones de aguas residuales a nivel estatal y federal, y del registro de transferencia de información requerida por un sistema MRV diseñado e implementado para el seguimiento y análisis de los objetivos fijados.
- Establecer **tarifas realistas** que incluyan los costos relativos a todo el proceso de aguas residuales, desde su captación en alcantarillado hasta su tratamiento y posterior disposición final.
- Establecer un **reparto equitativo de los recursos** (ayudas) a los municipios con mayores necesidades, tras la identificación de las necesidades específicas de cada municipio.
- **Destinar los recursos a municipios con mayores necesidades**, mediante la realización de estudios para identificar dichas necesidades.
- **Destinar mayor financiación a aquellos municipios que estén más lejos de lograr los objetivos**, mediante la realización de estudios de identificación.
- **Alineación y coordinación entre programas** de saneamiento de ARM y empleo para lograr un beneficio mutuo.

Instrumentos legales

- **Facilitar, mediante regulación normativa/legal, que las sanciones impuestas por CONAGUA sean efectivas.** Esto podría lograrse mediante obligaciones de pago de las sanciones impuestas, o el retiro de las subvenciones recibidas a los municipios o estados que no abonen las sanciones impuestas, por el incumplimiento de los objetivos fijados.
- **Desarrollar una normativa que actualice la operación de los organismos operadores** de las PTAR para considerar los requerimientos de la contabilidad de mitigación del cambio climático.
- **Establecer políticas** para que las plantas cuenten con todos los **recursos** necesarios para su operación y mantenimiento, considerando las tarifas y los recursos federales y estatales.

Instrumentos sociales y de capacitación

- Desarrollar **programas de sensibilización** a la población.
- Promover el desarrollo de **servicios de capacitación**, evaluación y certificación para formar, capacitar, evaluar y certificar recursos humanos de los organismos y empresas operadoras del sector de las aguas residuales en sus aspectos técnicos y operativos.
- Incrementar la **vigilancia** de las descargas siguiendo con el modelo actual de la CONAGUA, junto con PROFEPA. Aunque, debido a la falta de personal, se podría estudiar la posibilidad de plantearse un modelo mixto colaborando con terceros acreditados.
- Es necesario contar con **reguladores** que se encarguen de asegurar la calidad de los servicios que se prestan y aseguren que los montos sean acordes al servicio prestado. Para ello, sería necesario especificar mediante normativa la calidad que deben alcanzar los servicios y los montos al respecto. Además, se podría destinar personal de los diferentes organismos operadores que se encargarían del cumplimiento de la calidad exigida en su servicio.

7.2.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro

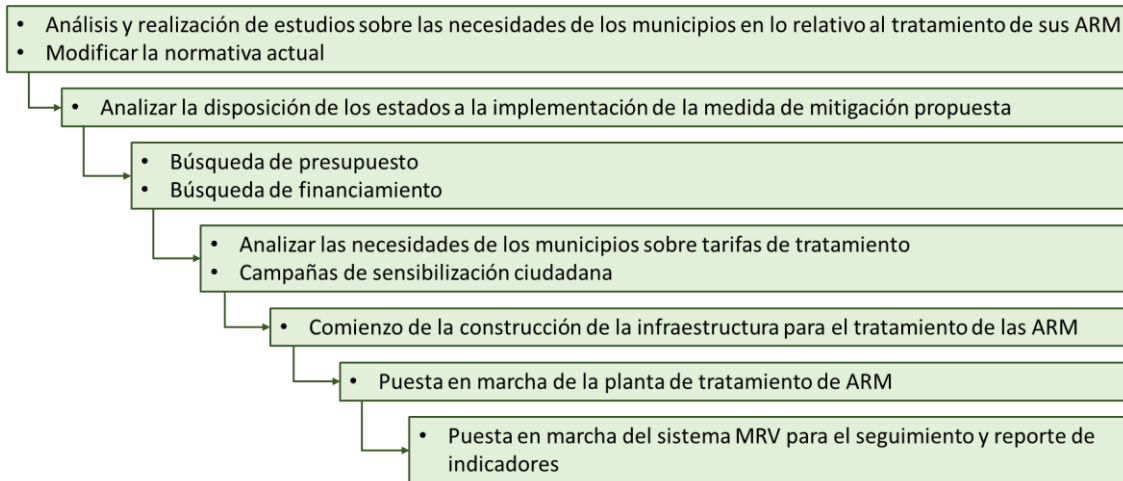
Las opciones tecnológicas identificadas relativas a la medida de mitigación M2 son las mismas que aquellas opciones identificadas para la implementación de la medida de mitigación M1. En este caso concreto de la medida de mitigación M2, se establece como opción tecnológica a futuro, dada su tendencia actual, la utilización de tratamientos mediante Lodos Activados para el caso de las zonas urbanas y la utilización de tratamientos mediante humedales para el caso de las zonas rurales, en vez de los tratamientos anaerobios como las fosas sépticas y similares que se realizan actualmente.

7.2.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados)

Para la implementación de la medida de mitigación M2 se propone establecer el mismo orden cronológico utilizado en la medida de mitigación M1, dado que las acciones más importantes a implementar son iguales en ambas medidas.

A continuación, y de forma genérica, se muestran los pasos a dar estimados para una correcta implementación de la medida de mitigación:

Figura 29. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico



Fuente: elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave.

Los pasos a dar en la implementación de la medida de mitigación M2 son, en esencia, muy similares a los propuestos para la implementación de la medida M1, solo con algunos aspectos específicos diferenciales a tratar.

Como primer paso o etapa a desarrollar para llevar a cabo la implementación de la medida de mitigación M1 consiste en llevar a cabo análisis detallados, y los correspondientes estudios de las necesidades específicas de cada uno de los municipios, respecto a la gestión de las ARM generadas en los dichos municipios. Este punto resulta ser imprescindible en la implementación de la medida, puesto que los resultados de los análisis elaborados recogerán la situación específica de cada uno de los municipios sobre cuantas ARM se generan, cuantas de esas aguas son captadas y, de ellas, cuantas son tratadas y con qué tecnologías o tipos de tratamiento. Estos estudios deberán recoger también, a nivel municipal, las barreras a las que se enfrenta de manera específica cada municipio, puesto que una de las barreras más relevante consiste en las limitaciones derivadas de la orografía, la cual varía de un municipio a otro. Para el caso específico de esta medida, los resultados de estos análisis y estudios deberán centrarse también en el tipo de tecnologías utilizadas para el tratamiento de las ARM generadas en cada municipio, así como en la situación geográfica de las PTAR que operan mediante lodos activados y humedales. La razón por la cual los resultados deberán reflejar estos aspectos reside en los objetivos específicos de la medida. Esta medida establece una sustitución de los sistemas anaerobios por sistemas aerobios, por ello, será necesario saber dónde y cómo se están tratando las ARM mediante estos sistemas, y a qué infraestructuras podrías derivarse estas ARM para su tratamiento mediante lodos activados (en el caso de situarse en una zona urbana) o humedales (en caso de situarse en una zona rural). Los resultados de estos estudios establecerán también las necesidades de inversión para el logro de los objetivos fijados.

Al igual que en la medida anterior, estos análisis y estudios deberán recopilarse a nivel de entidades estatales o, incluso, a nivel nacional, ya que las ARM generadas en municipios situados a corta distancia, aunque pertenezcan a estados diferentes, podrían tratarse en la misma planta. Por lo

tanto, es fundamental una buena coordinación y transparencia en la información generada, así como un buen traspaso de la misma con objeto de poder establecer un marco cooperativo de gestión y tratamiento del agua a nivel nacional.

Al mismo tiempo que se van realizando los análisis y estudios sobre la gestión de las ARM en los municipios, se consideraría necesario modificar la normativa actual existente con el fin de establecer de forma vinculante los objetivos fijados en esta RTI. También deberían recogerse las necesidades que actualmente no están normalizadas, y que resultan fundamentales para la implementación de la medida de mitigación. Un ejemplo de esto podría ser el fijar legalmente la responsabilidad de cada organismo (actor clave) en la implementación de la medida.

Este estudio de necesidades debería llevar asociado otro estudio que muestre la forma en la que se deberían desviar las ARM que son tratadas mediante sistemas anaerobios por otros aerobios (lodos activados y humedales). Para ello, se deberá analizar de manera geográfica la localización de las plantas existentes para estimar los nuevos caudales que recibirán tras la modificación. Una vez analizados los caudales que deberán tratar estas plantas, será necesario estudiar las necesidades de ampliación de las mismas para, en caso de ser necesario, aumentar su capacidad instalada.

El siguiente paso consistiría en llevar a cabo un análisis de la disposición de los estados a cumplir los objetivos fijados en esta medida de mitigación. Este punto resulta limitante en la implementación puesto que la buena predisposición resulta fundamental para que las acciones llevadas a cabo concluyan en el logro de los objetivos fijados. La buena disposición de los estados consiste en el nivel de compromiso que presenten en lo relativo a lograr estos objetivos. Si un estado no considera prioritario la implementación de esta medida de mitigación entre sus planes, esto debe servir para la priorización de recursos.

Una vez se han analizado las necesidades y la disposición de los estados, sería necesario comenzar la búsqueda de financiación necesaria para la implementación de la medida. La búsqueda de financiación podría realizarse en base a los presupuestos que el estado piense destinar anualmente a programas específicos (recogidos en el punto 7.1.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente), los cuales tienen como finalidad llegar a los objetivos de la medida. En función de la financiación requerida para implementar la medida y la parte que puedan cubrir los presupuestos considerados, la búsqueda de financiamiento faltante se podría basar en las fuentes identificadas en el punto: 7.1.5. Programas de financiamiento específico.

Un enfoque más social será necesario como paso siguiente. El desarrollo de nuevas infraestructuras (si fuese necesario) requiere de grandes inversiones que deberá hacer frente el estado/municipio. Para ayudar a sufragar estas inversiones se pueden proponer mecanismos de recuperación mediante tarifas de tratamiento de las ARM, las cuales se determinan teniendo en cuenta los gastos de infraestructuras, tanto de tratamiento como del transporte de las ARM, la operación de las plantas, etc. Estas tarifas dependerán del tipo de servicio prestado en cada municipio, pero su valor deberá ser determinado considerando la situación socioeconómica del lugar. Estas tarifas podrían ser recogidas por normativa para que el costo por tratamiento sea equitativo a nivel nacional, pero

teniendo en cuenta criterios socio-económicos que permitan considerar las necesidades estatales/municipales específicas.

Este último punto puede ser muy controvertido entre la población, debido a que tendrán que pagar por el tratamiento de sus ARM. Para que la acogida de la población a las modificaciones sobre las ARM sea aceptada, es fundamental llevar a cabo campañas de sensibilización ciudadana en las que se muestre por qué es necesario tratar las ARM generadas, no sólo desde un punto de vista de emisiones de GEI, sino desde un punto de vista general del medio ambiente y social. Estas campañas también deberán explicar las razones por las cuales se cobran unas tarifas de tratamiento, y los beneficios que obtendrá la población por el tratamiento de sus ARM.

Una vez realizados todos los pasos anteriores, se podrá comenzar con la construcción de la infraestructura necesaria para el tratamiento de las ARM y el logro de los objetivos marcados en la medida de mitigación. Una vez construida la infraestructura se procedería a la puesta en marcha de la PTAR y el sistema MRV que ha sido elaborado en esta RTI.

7.2.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida

La línea de tiempo corresponde a los hitos a alcanzar a lo largo del periodo de implementación de la medida, tanto para el escenario potencial como para el escenario conservador.

En este caso, representar la línea de tiempo respecto a la variación de cada uno de los sistemas de tratamiento anaerobios que van a llevarse al 0.00% y a la mitad de su utilización actual al 2050 resulta inviable y poco útil. Por ello, se propone mostrar los grados de utilización que procederán a tener los tratamientos de lodos activados bien gestionados y humedales a futuro tras la implementación de la medida, en comparación con los grados de utilización de dichos tratamientos en el escenario BaU. Se representa la evolución de los grados de utilización de los lodos activados mal gestionados representada en el escenario BaU que se mantendrá constante en los dos escenarios planteados en la medida M2, por lo tanto, el grado de utilización de la tecnología de lodos activados (bien y mal gestionada) será la suma de ambos parámetros.

Tabla 19. Evolución de los grados de utilización de los tratamientos de ARM mediante lodos activados y humedales respecto al total de ARM tratadas del BaU y los escenarios potencial y conservador de la medida M2.

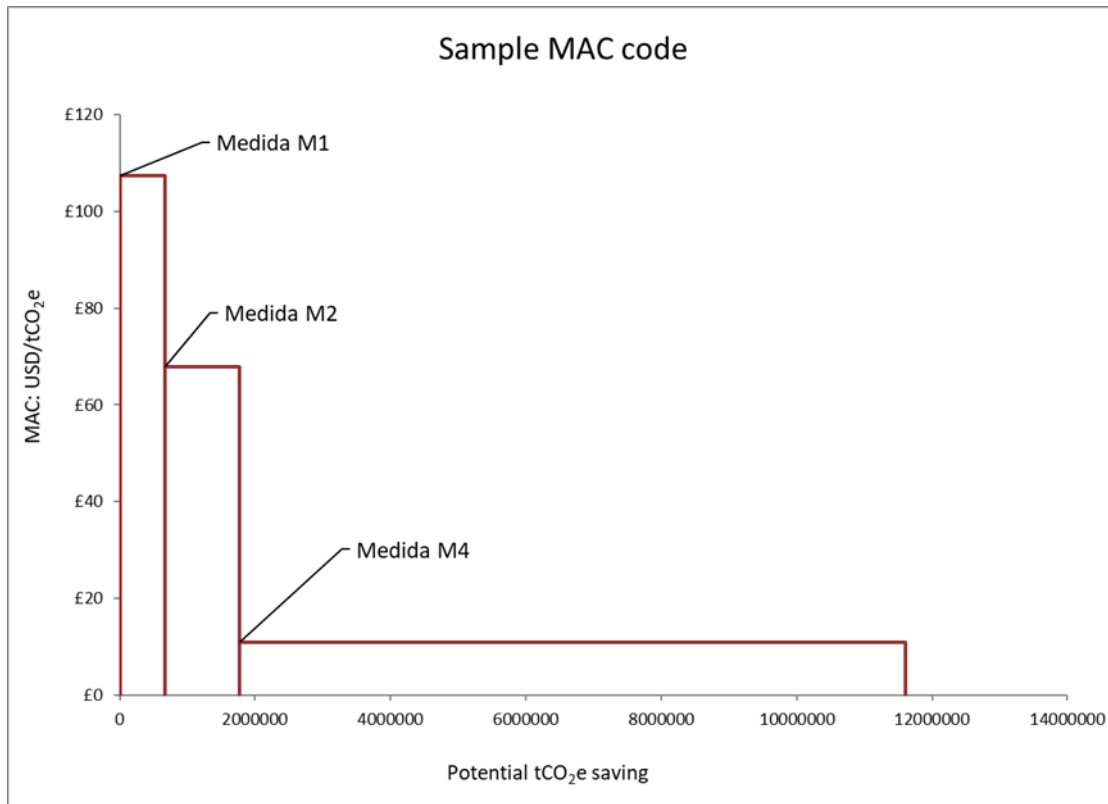
	2020	2030	2040	2050
Grados de utilización de lodos activados en el BaU	57.77%	61.80%	61.88%	61.97%
Lodos activados mal gestionados	39.39%	37.03%	31.74%	27.21%
Lodos activados bien gestionados	18.38%	24.76%	30.14%	34.76%
Grados de utilización de humedales en el BaU	0.98%	0.98%	0.98%	0.98%
Grados de utilización de lodos activados bien gestionados en el escenario potencial de la medida M2	18.90%	31.78%	36.72%	41.40%
Grados de utilización de humedales en el escenario potencial de la medida M2	1.08%	1.57%	2.06 %	2.56%

	2020	2030	2040	2050
Grados de utilización de lodos activados bien gestionados en el escenario conservador de la medida M2	18.50%	29.35%	32.26%	34.92%
Grados de utilización de humedales en el escenario conservador de la medida M2	1.03%	1.26%	1.49%	1.72%

7.2.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV

Información disponible en

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.
- SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)
- INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016
- CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.
- CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).
- Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.

- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.
- SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.
- Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.
- H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.
- SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.
- Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.
- INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011
- SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.
- CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.
- M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.
- Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)) de este documento.

7.2.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto

Información disponible en **Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo** de este documento.

7.2.15. Potencial de abatimiento de la medida

El potencial de abatimiento de la medida de mitigación consiste en la cantidad de emisiones de GEI que son reducidas respecto al escenario BaU del sector de las aguas residuales, sobre sus emisiones de aguas residuales municipales.

Para ello, en la Tabla 20, se muestran las reducciones de los escenarios propuestos en esta medida de mitigación M2 respecto a las emisiones de GEI del BaU.

Tabla 20. Potencial de abatimiento de los escenarios potencial y conservador de la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones de GEI proyectadas en el BaU.

	2020	2030	2040	2050
Reducción de emisiones del Escenario Potencial respecto al BaU	0.92%	6.91%	9.97%	13.12%
Reducción de emisiones del Escenario Conservador respecto al BaU	0.45%	3.51%	3.28%	2.51%

Tabla 21. Reducción de emisiones de GEI de los escenarios propuestos en la medida de mitigación M2 respecto a las emisiones establecidas en el escenario BaU.

Escenario	Sector IPCC en el que computa	2020	2030	2040	2050
		(GgCO ₂ eq/año)			
Escenario Potencial (Esc. 1)	Sector residuos (aguas residuales)	46.99	348.99	503.24	648.72
Escenario Conservador (Esc. 2)		22.81	177.15	165.56	124.13

7.2.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida

Las metas de reducción de emisiones de GEI condicionadas y no condicionadas recogidas en los compromisos de las NDC de México se han establecido como una reducción en porcentaje del total

de las emisiones generadas en el país, sin segregaciones entre los diferentes sectores identificados en el Inventario Nacional.

Sin embargo, tanto la 5ª Comunicación Nacional como el BUR de México, recogen las reducciones de emisiones previstas a 2030 desglosadas por sector (ver Figura 3). En dicha figura se observa una reducción prevista de las emisiones del sector residuos, en el que se encuentra el subsector de las aguas residuales, de aproximadamente un 28.6% de las emisiones proyectadas en el escenario BaU al año 2030. La reducción total a 2030 se estima en un 22% respecto al escenario BaU estimado a dicho año.

Dado que la línea base empleada en la NDC y 5ª Comunicación Nacional es diferente a la que actualmente se tiene en México, actualizada con la 6ª Comunicación Nacional, los datos de reducción de emisiones alcanzables por la implementación de las medidas propuestas en este documento no son comparables con la línea base de la NDC y, por tanto, solo pueden compararse con la línea base determinada en esta consultoría para el sector aguas residuales. Tampoco se puede determinar qué porcentaje de emisiones se podría lograr mitigar con respecto al sector residuos (residuos sólidos + aguas residuales) puesto que en esta consultoría se desconoce la nueva línea base a 2030 del sector residuos.

Cabe mencionar que, tal y como se ha comentado anteriormente, la reducción de emisiones lograda por la implementación de esta medida M2 correspondería totalmente al sector de las aguas residuales.

En la sección 0

de este documento puede observarse un análisis del potencial de mitigación conjunto de las 4 medidas respecto a la línea base (escenario BaU) planteada por esta consultoría para el sector aguas residuales.

7.2.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida

Los cálculos para la obtención de los costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M2 se llevan a cabo con la misma metodología que la descrita anteriormente en la medida M1, sección 7.1.17 de este documento.

Para este caso concreto, las diferencias específicas con la medida M1 residen en los volúmenes requeridos de tratamiento en cada uno de los sistemas de tratamiento al año 2030 en la medida de mitigación M2. Aplicando para este caso las ecuaciones correspondientes, se obtienen los siguientes costos representados en la tabla a continuación.

Figura 30. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M2

2030				
	CAUDALES	INVERSIÓN	COSTOS	
	Q a instalar (m3/año)		Salarios	Consumo energía
Lodos Activados	307.577.418,22	1.144.892.056,97 MXN	20.237.923,10 MXN	822.242,04 MXN
Humedales (Wetland)	20.147.091,95	20.583.885,92 MXN	1.325.634,70 MXN	53.858,92 MXN
Filtro biológico (sistemas aerobios)	23.226.865,90	185.597.512,88 MXN	1.528.277,10 MXN	62.092,03 MXN
Primario avanzado	19.284.225,11	102.616.597,51 MXN	1.268.859,94 MXN	51.552,23 MXN
Lagunas estabilización (sistemas anaerobios)	442.863,71	4.615.241,42 MXN	29.139,47 MXN	1.183,90 MXN
TOTAL	370.678.464,90	1.458.305.294,71 MXN	24.389.834,31 MXN	990.929,11 MXN
Costo total (MXN)	1.483.686.058,13 MXN			
Emisiones reducidas (t CO ₂ eq)	1.095.050,39			
Costo marginal (MXN/t CO ₂ eq)	1.354,90 MXN			
Costo marginal (\$/t CO ₂ eq)	67,91 USD			

La curva de costo marginal que recoge las 4 medidas de mitigación planteadas en esta RTI se muestra en la sección 0.

7.3. Medida de mitigación M3: Captura y aprovechamiento del biogás generado en PTAR

7.3.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida

La medida de mitigación M3 propone la producción de biogás por tratamiento anaerobio de los lodos procedentes de las ARM tratadas en PTAR, y su posterior aprovechamiento para la generación de energía térmica y eléctrica, tanto para el autoabastecimiento de la planta como para la venta del excedente eléctrico generado. Como complemento a este tratamiento, hacer uso del digestato obtenido como fertilizante agrícola, en vez de depositar dichos lodos digeridos en sitios de disposición final.

Es importante mencionar que las reducciones de emisiones logradas por esta combinación de actividades no se verían reflejadas en el sector de las aguas residuales, sino que computarían en el sector residuos sólidos (reducción de emisiones en sitios de disposición final), y en el sector energía (el aprovechamiento del biogás generado por parte de las PTARs como autoconsumo reduciría la cantidad de energía que consumirían de la red nacional). Por otra parte, aumentarían las emisiones en el sector agrícola por el uso de los lodos digeridos como fertilizantes orgánicos.

Dado que el Inventario Nacional de México no refleja aún en sus estimaciones la captación de biogás generado en PTAR, ni las emisiones derivadas del tratamiento de los lodos generados en PTAR, esta medida se plantea inicialmente en base al cálculo del potencial máximo de mitigación. Este potencial máximo se determina en base a presuponer dos situaciones opuestas: por una parte considerar la situación más desfavorable, es decir, todos los lodos se depositan en sitios de disposición final para todo el periodo 1990-2050, ya que este tipo de tratamiento de los lodos es el que más emisiones generaría; por otra parte, considerar como alternativa más propicia para la gestión de estos lodos su uso para la generación de biogás mediante procesos de digestión anaerobia, y el posterior uso del lodo digerido como fertilizante agrícola.

Es importante mencionar que existen ciertos estudios donde hay constancia de que algunas PTAR captan actualmente el biogás generado en sus procesos para la obtención de energía para el autoabastecimiento de la instalación, sin embargo, dado que esta información es solo parcial actualmente, el Inventario no incluye estos datos aún.

El escenario con el que se propone comparar la situación más desfavorable (depósito en sitios de disposición final) consiste en un tratamiento integral de los lodos generados en las PTAR, mediante procesos anaerobios (digestión anaerobia) para la producción de biogás, hasta la obtención de un producto digerido y estabilizado que puede ser usado posteriormente como fertilizante orgánico en suelos agrícolas. En ocasiones, tras la digestión anaerobia de los lodos, se requiere de un proceso de estabilización, por ejemplo, mediante compostaje, de dichos lodos tratados antes de su utilización como fertilizante. Sin embargo, los principales actores clave del país que han participado en la elaboración de esta consultoría, confirman que las plantas de actualmente ya aplican estos procesos en México operan en unas condiciones que los lodos no requieren de ningún proceso de estabilización, ya que el digestato obtenido está estabilizado y tiene la calidad requerida para su uso.

El plazo de ejecución de esta medida de mitigación M3 se extendería hasta el año 2050.

7.3.2. Escenario propuesto para la medida

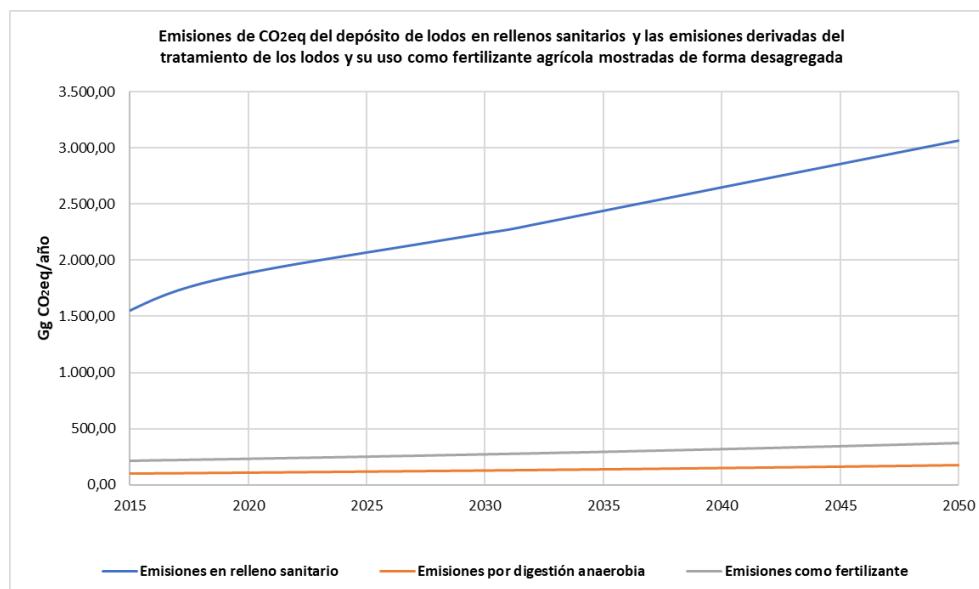
No se proponen escenarios diferentes de la medida de mitigación como en los demás casos, sino que se propone un único escenario de potencial máximo de mitigación.

Tabla 22. Resumen del escenario propuesto para la implementación de la medida de mitigación M3.

Nombre del escenario	Descripción / Objetivos
Escenario Potencial Máximo de Mitigación	El escenario propone tratar todos los lodos generados durante el tratamiento de las ARM en PTAR, mediante digestión anaerobia, para generar biogás y su posterior valorización energética, y un posterior uso del producto obtenido (digestato) como fertilizante, evitando así el depósito de estos lodos en sitios de disposición final.

Tras el análisis de la medida de mitigación M3, se obtiene la siguiente evolución de las emisiones:

Figura 31. Evolución de las emisiones de GEI de los procesos propuestos en la medida de mitigación M3.



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior muestra el máximo abatimiento de GEI posible esperable de esta medida. Tal y como se comenta anteriormente, esta reducción de emisiones no se aprecia en un sector en concreto, sino que es el resultado final de las reducciones logradas en el sector residuos sólidos y el aumento en el sector agrícola.

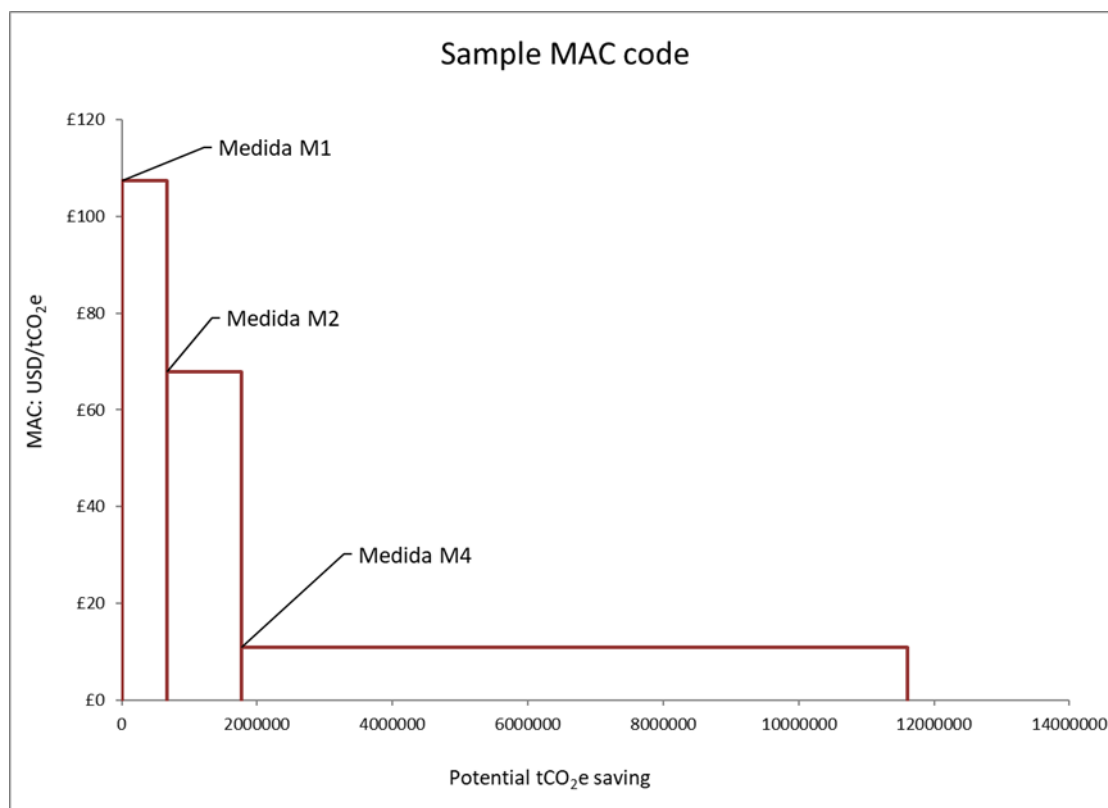
7.3.3. Actores responsables de la medida

En el caso de la medida de mitigación M3, es más complicado establecer el o los actores responsables del seguimiento de la medida. La dificultad reside en la tipología de residuo que se considera en esta medida de mitigación. Por una parte, se tienen los lodos generados en la PTAR que, mientras se mantengan dentro de las instalaciones, el responsable de su gestión y seguimiento es la CONAGUA, puesto que se considera parte del tratamiento de las aguas residuales. Por otra parte, cuando la gestión de dichos lodos hace que éstos tengan que trasladarse fuera de la planta, no existe ningún organismo, actualmente, que lleve a cabo un seguimiento real del residuo.

Al considerarse los lodos de depuradora un Residuo de Manejo Especial (RME), el actor responsable de su seguimiento debería ser PROFEPA, quien se encargaría de su seguimiento hasta su depósito.

Al igual que en los casos anteriores, la relación entre los actores responsables identificados se recoge con más detalle en la sección relativa al sistema MRV de esta medida (ver

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.
- SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.
- Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

- H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.
- SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.
- Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.
- INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)).

7.3.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente

A nivel general, la medida se encontraría principalmente alineada con la Ley General de Cambio Climático y la Ley de Aguas Nacionales (ambas expuestas al comienzo de este documento).

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con las siguientes normativas nacionales que se mencionan a continuación:

- **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos⁵¹**: está ley cataloga los lodos generados en PTAR como residuos de manejo especial.
- **NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y otras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial⁵²**: esta normativa recoge la necesidad de tratar o acondicionar los lodos generados en PTAR previo a su disposición final.
- **NOM-004-SEMARNAT-2002 sobre la protección ambiental – lodos biosólidos – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final⁵³**: esta normativa recoge las posibilidades del aprovechamiento de los lodos generados en PTAR en otras actividades para su disposición final.

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con los siguientes instrumentos de la política nacional:

- **Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018⁵⁴**: Este plan engloba todas las metas nacionales globales que a continuación serán desarrolladas de forma más específica. El plan se centra en 5 ejes principales y el eje que recoge las metas relativas al cambio climático y las aguas residuales más específicamente, es el eje 4 “México Próspero”, y más concretamente:
 - Objetivo 4.4. Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente.
- **Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2013 - 2018⁵⁵**, el cual es parte del Programa Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 de México. Centra su objetivo número 5 en “Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo”. Entre las estrategias recogidas en este objetivo, aquella relacionada

⁵¹ La ley está disponible en el siguiente enlace http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf

⁵² Norma disponible en el siguiente enlace

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004

⁵³ Norma disponible en el siguiente enlace http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003

⁵⁴ El plan nacional puede consultarse en el siguiente enlace <http://pnd.gob.mx/>

⁵⁵ El programa puede consultarse en el siguiente enlace

<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/Documents/PROMARNAT%202013-2018.pdf>

directamente con el agua en la Estrategia 5.1. Proteger los ecosistemas y el medio ambiente y reducir los niveles de contaminación en los cuerpos de agua. Las acciones concretas sobre aguas residuales dentro de la estrategia son:

- Línea de acción 5.1.7. Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de las aguas residuales existente.
- Línea de acción 5.1.8. Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.
- **Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2014 – 2018⁵⁶:** este programa recoge la vulnerabilidad del país a los efectos del cambio climático y establecen unas metas nacionales compuestas por objetivos y estrategias específicas para intentar reducir los efectos adversos del cambio climático en el territorio. En el Objetivo 4 del programa se menciona “Reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), proporcionando co-beneficios de salud y bienestar”, así mismo se señala como Estrategia 4.2. “Reducir emisiones de metano en plantas de tratamiento de aguas residuales”.
- **Programa Nacional Hídrico (PNH) 2013 – 2018⁵⁷:** al igual que en el PECC, en PNH recoge las metas propuestas a nivel nacional con el fin de proteger y conservar el agua nacional mediante estrategias específicas. En el Objetivo 3 del programa se recoge “Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, y en su Estrategia 3.3. se señala “Sanear las aguas residuales municipales e industriales con un enfoque integral de cuenca hidrológica y acuífero”. Esta estrategia tiene las siguientes líneas de acción directamente relacionadas con la presente medida de mitigación:
 - Línea de acción 3.3.3. Impulsar el uso y manejo de fuentes de energía alternativas para el autoconsumo en procesos de tratamiento de aguas residuales.
- **Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012⁵⁸:** El programa recoge como una de las acciones a llevar a cabo el aprovechamiento material o térmico de los residuos, en el que se encuentra la recuperación de los lodos de plantas de tratamiento. Además, recoge como una meta promover la construcción de infraestructura para el aprovechamiento de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **Prospectiva de Energía Renovable 2016 – 2030, SENER⁵⁹:** esta prospectiva recoge la meta de fomentar la obtención de energía generada mediante biogás.

⁵⁶ Programa disponible en el siguiente enlace

http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf

⁵⁷ Programa disponible en el siguiente enlace <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/PNH2014-2018.pdf>

⁵⁸ El programa está disponible en el siguiente enlace

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187438/pnpgir_2009-2012.pdf

⁵⁹ El programa está disponible en el siguiente enlace

- **5ª Comunicación Nacional de México⁶⁰:** en la última comunicación nacional de México elaborada hasta la fecha, se recoge como una acción con potencial de abatimiento de emisiones de GEI en el país, la captura y aprovechamiento de biogás producto de rellenos sanitarios y PTAR.

7.3.5. Programas de financiamiento específico

Los mecanismos de financiamiento nacionales pueden proceder tanto de fondos gubernamentales como de bancos nacionales. En las siguientes líneas se muestran algunos de los fondos destinados a proyectos relacionados con el sector de las aguas residuales procedentes de diferentes organismos del gobierno de México y bancos mexicanos.

Estas fuentes de financiamiento han sido extraídas del documento elaborado por SENER para el gobierno de México denominado *“Fuentes de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de RSU y RME en México”⁶¹*.

Es importante mencionar, que tal y como se establece en las normas y políticas antes mencionadas, las metas a nivel nacional sobre el biogás generado en PTAR promueven su uso como fuente de energía y autoabastecimiento de la planta, por ello, las fuentes de financiamiento están en línea con las metas nacionales, a pesar de no estar relacionadas con el escenario planteado sobre mitigación de emisiones de GEI en la base de datos.

7.3.5.1. *Financiamiento nacional*

Fondos gubernamentales

- **Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP):** Esta secretaría del gobierno de México promueve algunos fondos como los fondos municipales⁶², metropolitanos y regionales. Estos fondos se destinan a agrupaciones de municipios, zonas metropolitanas y/o regiones que se han unido para lograr el financiamiento para proyectos relativos a la gestión de sus aguas residuales. El tipo de fondo depende del tipo de unión llevada a cabo para lograr dicho financiamiento y puede ser útil en aquellas zonas que geográficamente se encuentren muy cercanas las unas de las otras pero que corresponden a entidades federativas diferentes.

⁶⁰ La Comunicación Nacional de México está disponible en el siguiente enlace

<https://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc5s.pdf>

⁶¹ El documento está disponible en el siguiente enlace https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-es-EnRes_Fuentes_de_recursos_financieros_para_proyectos_de_aprovechamiento_energetico_de_RSU_y_RME.pdf

⁶² Puede consultarse información sobre los fondos municipales en el siguiente enlace:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220840/Programas_Federales_2017_VERSION_ELECTRONICA_FINAL_1.pdf

- **Programa de prevención y gestión integral de residuos (Programa U012) mediante fondos de SEMARNAT⁶³:** el programa consiste en fomentar el manejo y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el país, a través del financiamiento de estudios o programas de prevención y gestión integral y proyectos.
- **Fondos para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía creados por el LTE (FOTEASE)⁶⁴:** consiste en un instrumento de política pública de SENER para promover la utilización, desarrollo e inversión de las energías renovables y la eficiencia energética en el país.
- **Programas financiados por CONAGUA**

Bancos nacionales

- **Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)⁶⁵:** Vehículo de coordinación del Gobierno de México para el desarrollo de infraestructura en sectores de comunicación, transporte, agua, medio ambiente y turismo. El fondo ha apoyado proyectos en México como la rehabilitación de la planta de tratamiento de Punta Bandera, el diagnóstico del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Valle de Bravo y la rehabilitación de 13 plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - **Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)⁶⁶:** Este programa se alimenta mediante el Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)⁶⁷.
- **Banca de Desarrollo Nacional Financiera (NAFIN)⁶⁸:** El banco de desarrollo ofrece servicios financieros, así como de capacitación y asistencia a PYMES y empresas de México. Específicamente, y relacionado con la presente medida de mitigación, la banca financia proyectos de energía renovable a partir del procesamiento de residuos, con el fin de ayudar a una sustitución progresiva del uso de combustibles tradicionales por fuentes de energía más limpias.

⁶³ Puede consultarse más información sobre el programa en el siguiente enlace

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-residuos>

⁶⁴ Puede consultarse más información sobre los fondos en el siguiente enlace <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>

⁶⁵ Puede consultarse información sobre el fondo FONADIN en el siguiente enlace: <http://www.fonadin.gob.mx/>

⁶⁶ La información sobre el programa PROMAGUA se puede consultar en el siguiente enlace: <http://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/programa-de-modernizacion-de-organismos-operadores-de-agua-promagua/>

⁶⁸ Puede consultarse más información sobre el financiamiento de NAFIN en el siguiente enlace

http://www.nafin.com/portalfn/content/banca-de-inversion/proyectos-sustentables/energia_renovable.html

7.3.5.2. *Financiamiento internacional*

- **Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)⁶⁹:** Financian proyectos que prevengan, controlen o reduzcan contaminantes ambientales, mejoren el abastecimiento de agua potable o protejan la flora y la fauna para mejorar la salud humana, promuevan el desarrollo sustentable o contribuyan a lograr una mejor calidad de vida. En proyectos relacionados con el agua, el banco financia temas de suministro, tratamiento y distribución de agua potable, recolección, tratamiento y reutilización de aguas residuales, conservación de agua y drenaje pluvial y control de inundaciones.
 - Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF):
- **Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)⁷⁰:** El CAF financia proyectos que promueven la generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales como el biogás generado en PTAR.
- **Banco de Desarrollo Alemán (KfW)⁷¹:** Junto con la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) el KfW financia proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales.
- **Banco Mundial / World Bank (WB)⁷²:** El WB apoya con financiamiento proyectos que contemplen la reducción de emisiones de GEI.
- **Banco Interamericano de Desarrollo (BID):** El BID aporta financiamiento a proyectos de energías renovables mediante partidas dentro de las Garantías Soberanas (aquellas que van al sector privado y no necesitan ser respaldadas por el gobierno mexicano).
- **Agencia Francesa de Desarrollo (AFD):** Esta agencia desarrolla proyectos en México dirigidos a luchar contra el cambio climático, además de apoyar a México en la transición energética.
- **Banco Europeo de Inversiones (BEI)⁷³:** El objetivo principal de los préstamos de este banco se encuentra dentro de los objetivos de Acción por el Clima de América Latina, entre las que se encuentran las acciones relativas a la mitigación de las emisiones de GEI.
- **Climate Investment Fund / Fondo para Tecnologías Climáticas Limpias (CIF)⁷⁴:** estos fondos a través de sus programas de energía renovable fomentan el aprovechamiento del biogás a través del financiamiento y apoyo técnico de este tipo de proyectos. México cuenta con 19 proyectos en distintos sectores.

⁶⁹ Puede consultarse más información sobre el BDAN en el siguiente enlace:

<http://www.nadb.org/about/areasdeservicio.asp>

⁷⁰ Puede consultarse más información sobre el CAF en el siguiente enlace: <https://www.caf.com/es/>

⁷¹ Puede consultarse más información sobre el KfW en el siguiente enlace: <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/International-financing/KfW-Development-Bank/Local-presence/Latin-America-and-the-Caribbean/Mexico/>

⁷² Puede consultarse más información sobre el WB en el siguiente enlace: <http://www.bancomundial.org/>

⁷³ Puede consultarse más información sobre el banco en el siguiente enlace https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-investment-bank_eshttps://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-investment-bank_es

⁷⁴ Puede consultarse más información sobre los fondos en el siguiente enlace

<https://www.climateinvestmentfunds.org/projects/extended-biogas-program>

- **Agencia de Cooperación Internacional del Banco de Japón⁷⁵**: el JICA (según sus siglas en inglés) institución financiera que pertenece al gobierno japonés que financia proyectos en el extranjero cuyo objetivo sea conservar el medio ambiente global. Esta agencia se abrió paso en México a través de BANCOMEX desarrollando una línea de crédito para empresas con miras a reducir los GEI y para el apoyo de energías renovables.
- **Fondo Prosperidad del Reino Unido⁷⁶**: este fondo promueve el crecimiento económico global sustentable mediante el apoyo para generar economías globales abiertas.
- **Agencia Danesa⁷⁷**: La agencia danesa colabora con diferentes organismos del gobierno (INECC, CONUEE, CENACE, SENER, PEMEX) mediante el Programa de Energía y Cambio Climático para apoyar a México en la implementación de las NDC del país.
- **Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ)⁷⁸**: Junto con la Secretaría de Energía (SENER), la SEMARNAT, la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS) y la CONAGUA han publicado la “Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en PTARs”. Además, ha firmado un convenio con ANEAS para desarrollar el Programa de Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos (EnRES).
- **Banca Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)⁷⁹**: Mediante su **Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)⁸⁰** la AECID lleva a cabo proyectos relacionados con el saneamiento. Uno de los proyectos financiados por este fondo es el Proyecto de saneamiento de las zonas marginadas del valle de La Sabana del estado de Guerrero (México), donde la entidad beneficiada es la CONAGUA. Inversión realizada por el FCAS: 20.32 millones de euros y otra cantidad de inversión local.

7.3.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida

En las NDC de México se recogen metas condicionadas y no condicionadas sobre adaptación al cambio climático, además de las ya conocidas metas sobre mitigación al cambio climático. En sus metas de adaptación no condicionadas se recogen algunas concretas relacionadas directamente

⁷⁵ Puede consultarse más información sobre el banco en el siguiente enlace <https://www.jica.go.jp/spanish/index.html>

⁷⁶ Puede consultarse más información sobre los fondos en el siguiente enlace <https://www.gov.uk/government/news/british-embassy-mexico-city-prosperity-fund-call-for-proposals.es-419>

⁷⁷ Puede consultarse más información sobre la Agencia Danesa en el siguiente enlace: <http://mexico.um.dk/en/government-corporation/climate-and-energy-co-operation/outcome-of-the-first-phase-of-the-energy-and-climate-programme>

⁷⁸ Puede consultarse más información sobre el GIZ en el siguiente enlace: <https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html>

⁷⁹ Puede consultarse más información sobre el AECID en el siguiente enlace: <http://www.aecid.es/EN>

⁸⁰ Puede consultarse más información sobre el FCAS en el siguiente enlace: <http://www.fondodelagua.aecid.es/es/fcas/programas/programas-del-fondo/#aut1-12>

con la medida de mitigación M2. Estas medidas de adaptación al cambio climático son las que siguen:

- Incorporar criterios de adaptación en proyectos de inversión pública que consideren construcción y mantenimiento de infraestructura: la sinergia con esta meta de adaptación estaría relacionada con la construcción de infraestructuras que pudiesen captar el biogás generado en las plantas y poder utilizarlo como fuente de energía en las mismas.

7.3.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida

Se han identificados una serie de co-beneficios que podrían darse tras la implementación de la medida de mitigación M3, que han sido recogidos en la tabla a continuación:

Tabla 23. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida

Co-beneficios de la implementación de la medida de mitigación M2
• Reducción de emisiones de GEI por la gestión de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales. La reducción de emisiones por el tratamiento alternativo de los lodos en vez de depositarlos en los sitios de disposición final se observaría en el sector residuos, mientras que la posible reducción de emisiones por el uso del biogás como fuente de energía se observaría en el sector energía. • Reducción de la cantidad de fertilizantes químicos utilizados en suelos agrícolas por el uso del digestato generado del tratamiento anaerobio de los lodos de PTAR. • Fuente de energía renovable: tal y como queda recogido en la prospectiva de energía renovable 2016 – 2030 de México, el biogás está considerado como una fuente de energía renovable. • Reducción del consumo de energía de fuentes no renovables debido al aprovechamiento como fuente de energía para autoconsumo del biogás generado en las PTAR. • Aprovechamiento del excedente térmico generado en el tratamiento anaerobio de los lodos en instalaciones cercanas. • Generación de empleo y aumento de la competitividad de las empresas, en caso de ser gestionada por una empresa privada. • Puede considerarse también una mejora de la imagen de la PTAR.

7.3.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado

Las barreras en la implementación de la medida de mitigación consisten en posibles dificultades a las que el país se enfrentaría a la hora de implementar la medida. Es importante a la hora de realizar

una ruta tecnológica tener identificadas las posibles barreras para así poder actuar sobre dichas dificultades a fin de alcanzar los objetivos establecidos.

A continuación, se muestra una identificación de las posibles barreras a las que México podría enfrentarse en la implementación de la medida de mitigación M3. Estas barreras se han identificado en barreras sobre disponibilidad de información, barreras económicas o financieras, relacionadas con los retos de inversión, y barreras tecnológicas.

Tabla 24. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida de mitigación M3.

Barreras de disponibilidad e intercambio de información
- No existe actualmente un sistema de recogida de información robusto, fiable y completo sobre la cantidad, características y formas de gestión de los lodos de PTAR. - No existe actualmente un ente/administración que se esté responsabilizando del seguimiento de los lodos de PTAR, ni de registrar dicha información.
Barreras económicas/financieras
Altos costos de capital de inversión para tecnología (digestores anaerobios) - Quizás las tasas que se cobran actualmente a la población por el manejo de los residuos no serían suficientes para cubrir los costos de la gestión de los lodos que se espera mejore y sea realmente efectiva y con seguimiento real. - La posibilidad de recibir recursos federales por parte de los municipios se ven limitados por la falta de identificación de las necesidades concretas de dichas localidades, esto dificulta la priorización del reparto de recursos. Además, el corto marco de gobierno municipal (3 años), así como la falta de personal técnico constante y permanente dentro de las administraciones municipales (que sea capaz de generar y preparar toda la documentación necesaria para contar con un proyecto viable), dificulta la viabilidad a corto plazo.
Barreras tecnológicas

- **La energía generada** a partir de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, actualmente, **no puede considerarse competitiva** frente a la energía generada a partir de combustibles fósiles **para la obtención de un beneficio externo**, aunque sí lo sería para abatir costos de la planta.

Barreras normativas/jurídicas

- No existe una normativa que establezca los **requisitos de reporte de información** sobre lodos: tipo de datos, responsables del reporte, responsables del seguimiento, etc.
- El impulso de la **valorización energética a partir de residuos** no se recoge explícitamente en la **normativa y reglamentación del país**, por lo que no existe información sobre metas a alcanzar, sistemas de tratamientos a utilizar, etc. Esto puede dificultar el compromiso de las plantas y de las instituciones públicas para promover este tipo de actividades.
- El hecho de que, según la normativa actual en México, el **agua sea de competencia federal y los residuos sean de competencia estatal** puede derivar en diferentes tipos de problemas: intercambio de información, colaboración institucional, diferencias en la reglamentación/normativa, etc.

7.3.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida

A continuación, se muestran los principales instrumentos identificados para la implementación de la medida de mitigación M3, clasificados en instrumentos institucionales, económico/financieros, y sociales y de capacitación.

Tabla 25. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida

Instrumentos institucionales

- **Coordinación interinstitucional** de las entidades de los 3 órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) a través de acuerdos o convenios de colaboración.
- Asegurar la **transparencia y uso compartido de la información** necesaria generada.
- Involucrar a los **operadores de las plantas** para llevar a cabo el levantamiento de información necesaria sobre lodos: generación, características, formas de tratamiento y gestión, y destino final.
- Establecer un **ente/administración** que vele, por el cumplimiento de la normativa vigente sobre gestión y tratamiento de lodos, y registre de forma oficial toda la información requerida.
- **Involucrar al sector privado** para actuar como gestores intermedios de residuos (lodos), teniendo que reportar, a través de algún tipo de registro oficial y supervisado, la información sobre cantidad, características de lodos recogidos en las PTARs, y la cantidad y destino de los mismos en los sistemas finales de tratamiento/disposición final

Instrumentos económicos/financieros

- Establecer una **tasa regulada para el manejo de los lodos**, de esa manera generar estabilidad financiera, rentabilidad y atraer la participación privada.
- **Incrementar los impuestos (derechos) por disposición final de los lodos** para así incentivar su gestión por medio de otros sistemas diferentes.
- Mejora de las tecnologías de producción de biogás y posibilitar la **venta de excedente de energía** generada a partir del biogás al mercado.
- Establecer un **reparto equitativo de los recursos** (ayudas) a los municipios con mayores necesidades, tras la identificación de las necesidades específicas de cada municipio.
- **Destinar mayor financiación a aquellos municipios que estén más lejos de lograr los objetivos**, mediante la realización de estudios de identificación.

Instrumentos normativos/jurídicos

- Elaborar normativa específica que determine la información a reportar referente a los lodos de PTAR
- Hacer uso de la **ley general de transparencia**, apoyados por la acción de PROFEPA, para lograr que las plantas reporten la información requerida.
- Establecer **metas nacionales reguladas por ley/normativa relativas a la generación de energía a partir de fuentes renovables** (especialmente residuos/lodos), para así incentivar la demanda de energía a partir de este tipo de residuos.

Instrumentos sociales y de capacitación

- Promover el desarrollo de **servicios de capacitación**, evaluación y certificación para formar, capacitar, evaluar y certificar recursos humanos de los organismos y empresas operadoras del sector de las aguas residuales en sus aspectos técnicos y operativos.
- Promover la **sensibilización ciudadana** a través de programas para que la población conozca la existencia y los beneficios de las nuevas instalaciones y sistemas de seguimiento y gestión, tanto de las aguas residuales como de los lodos generados.

7.3.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro

Para el análisis de las opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro, se ha estudiado la tendencia tecnológica en lo relativo al tratamiento de las aguas residuales en otros países, con el fin de establecer el tipo de tecnologías con mayor fuerza, de la misma forma que en el caso de la medida de mitigación M1.

A continuación, se han identificado las tendencias en cuanto a tecnologías de aprovechamiento energético a partir del biogás generado en PTAR que se recogen en la *“Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales”*⁸¹ elaborado por SENER:

- Desarrollo del tratamiento de los lodos generados en el tratamiento de ARM mediante digestores anaerobios.
- Implementación de sistemas de incineración de lodos de PTAR mediante cogeneración eléctrica.
- Implementación de deshidratación térmica con cogeneración eléctrica (secado térmico), aunque también hay una gran tendencia al uso del proceso de compostaje como método más económico para la reducción del contenido en humedad de los lodos de PTAR.
- Co-digestión: esto supone la digestión conjunta de los lodos generados en PTAR junto con la fracción orgánica de los RSU y materia no residual para la generación de energía.

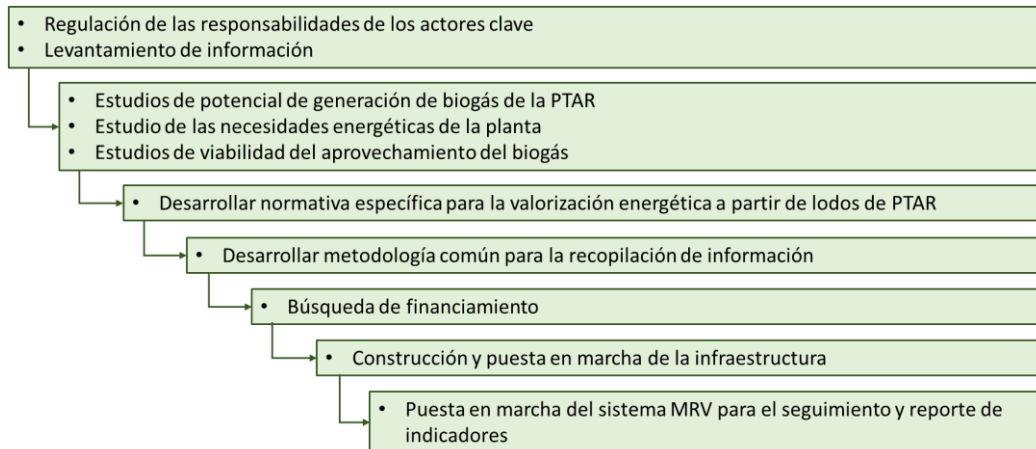
7.3.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados)

El modelo de implementación de la medida de mitigación propuesta consiste en establecer el orden cronológico lógico a la implementación de la misma, teniendo en consideración los pasos necesarios a realizar.

A continuación, y de forma genérica, se muestran los pasos a dar estimados para una correcta implementación de la medida de mitigación:

⁸¹ Documento disponible en el siguiente enlace <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2017/10/guia-lodos2017-dig.pdf>

Figura 32. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico para la medida M3.



Fuente: elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave.

El primer paso a dar para llevar a cabo la implementación de la medida de mitigación M3 consiste en establecer y regular las responsabilidades de los actores clave involucrados. Esto consiste en establecer quién, o quienes, son los actores responsables de llevar un seguimiento de la cantidad de lodos generados durante el tratamiento de las ARM en las PTAR, así como los actores responsables del seguimiento de los mismos hasta el destino final de los mismos. Este es un punto fundamental en la implementación de la medida ya que, actualmente, no existe constancia de que es lo que está sucediendo con los lodos (no existen datos oficiales sobre cantidades de lodos generadas ni el destino de los mismos).

Este paso lleva asociada la necesidad de un levantamiento de información que recoja cantidades de lodos generados en cada una de las PTAR del país (expresado en unas mismas unidades, como, por ejemplo, toneladas o kilos de lodos generados), el destino de dichos lodos (vertido en rellenos sanitarios, venta a terceros como fertilizante, etc.) y el gestor encargado del traslado de los lodos fuera de la planta.

Se considera de gran importancia el desarrollar un formato común para la recogida de información de los lodos tratados, el sistema de tratamiento, la cantidad de biogás generado y la gestión del mismo (si es quemado en una antorcha o si es utilizado como fuente de energía y, por lo tanto, la cantidad de energía eléctrica que se genera), etc. Esta información resulta imprescindible a la hora de llevar un seguimiento sobre la situación de las plantas en lo relativo al tratamiento de sus lodos. Además, esto será posteriormente un elemento clave para el seguimiento de los indicadores propuestos en el sistema MRV, que serán los elementos encargados de valorar el progreso de implementación de la medida, y ayudarán a identificar las barreras y problemas que puedan estar dificultando el logro de los objetivos anuales establecidos.

Una vez se consiga levantar toda esta información de base, se recomienda llevar a cabo la elaboración de diferentes estudios específicos, como una actualización sobre el potencial de generación de biogás de los lodos generados en PTAR, estudios sobre las necesidades energéticas

de las plantas de tratamiento, la viabilidad del aprovechamiento del biogás de las PTAR, etc. Estos estudios ayudarán a establecer si es o no viable realizar inversiones para el aprovechamiento del biogás que pueda generarse en las PTAR que operan con sistemas de tratamiento anaerobio, dado que pueden requerir altos costos por inversión y mantenimiento. Una vez realizados estos estudios, se podrán determinar las PTAR que, por sus características y ubicación, permitirían lograr los beneficios esperados de las inversiones que deban realizarse para captar y aprovechar como fuente de energía el biogás generado en las mismas.

El siguiente paso a dar, que podría ser algo a desarrollar de forma paralela a la etapa anterior, sería el desarrollo de normativa específica que impulse la valorización energética de los lodos generados en el tratamiento de ARM en PTAR para la producción de biogás. Esta normativa debería ayudar a regular la valorización energética de los lodos frente a otros posibles tratamientos finales, de forma que se incentive esta práctica frente a la de su depósito en lugares de disposición final.

El siguiente punto, el cual es común en la implementación de cualquiera de las medidas de mitigación propuestas, consiste en la búsqueda de financiamiento. Este financiamiento puede buscarse entre las fuentes identificadas en la sección 7.3.5. *Programas de financiamiento específico* anterior. Estas fuentes de financiamiento identificadas podrían apoyar a los estados y municipios a cubrir los costos necesarios para la implementación de la tecnología necesaria para la captura y aprovechamiento del biogás generado del tratamiento de los lodos de PTAR.

Como últimos pasos a dar se establece el desarrollo de la infraestructura necesaria para el aprovechamiento del biogás, así como la puesta en marcha de la misma, y la puesta en marcha del sistema MRV propuesto en esta RTI.

7.3.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida

En la actualidad no se dispone de información suficiente para poder establecer unas metas específicas sobre captación de biogás generado en PTAR a nivel nacional.

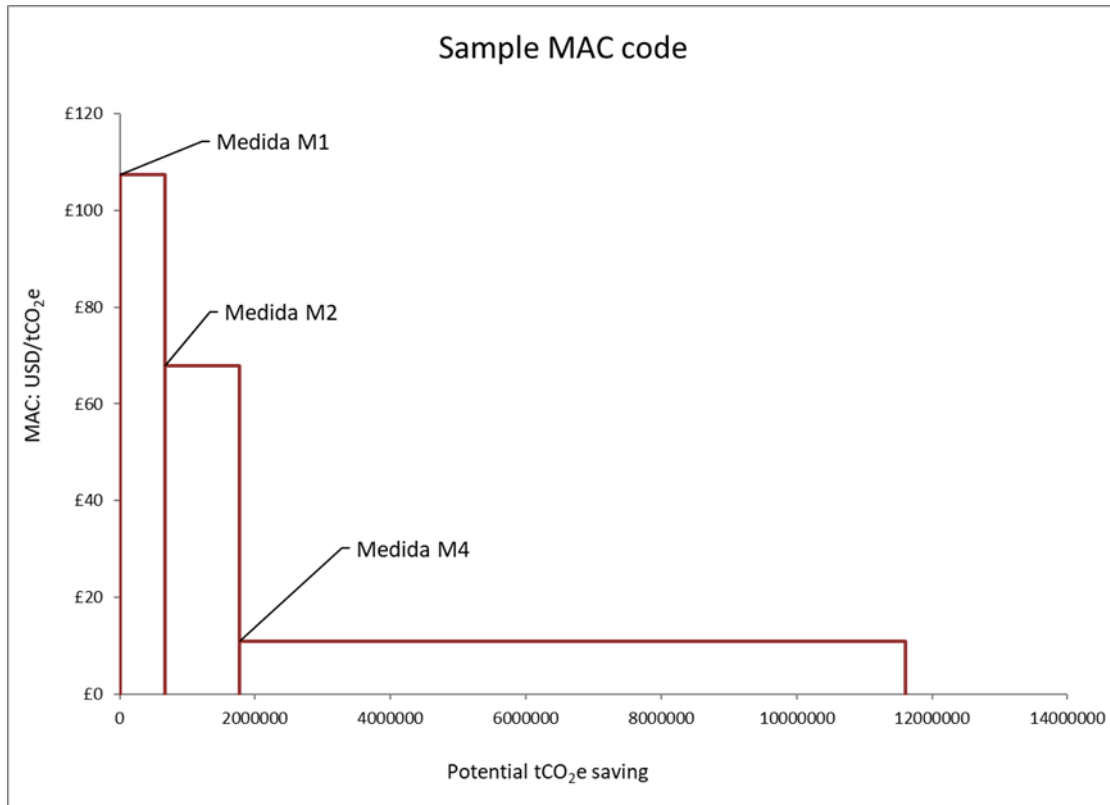
Se cuenta con un estudio realizado por el IMTA sobre los potenciales de aprovechamiento de biogás que tendrían las PTAR en operación de México, pero sería necesario realizar un estudio de viabilidad exhaustivo para poder establecer unas metas en cuanto a captación y aprovechamiento de biogás que sean coherentes con la situación de las PTAR y el país.

En la base de datos se han fijado unos objetivos en base al potencial máximo de mitigación estimado. Es necesario poder llevar a cabo el levantamiento de información de base y, una vez se cuente con esta información, determinar con precisión la situación real de México respecto a este escenario potencial de mitigación, pudiendo entonces fijar unos objetivos realistas y establecer una línea de tiempo acorde a ellos.

7.3.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV

Información disponible en

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

- CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).
- Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México

IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.

Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011
- SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.
- CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.
- M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.
- Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)) de este documento.

7.3.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto

Información disponible en **Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo** de este documento.

7.3.15. Potencial de abatimiento de la medida

Tal y como se ha comentado al inicio de este punto, esta medida se ha planteado en base a establecer un escenario de potencial máximo de mitigación. Este escenario se basa en la suposición de considerar que todos los lodos de PTAR han sido, y serán, tratados mediante su depósito en sitios de disposición final. La alternativa propuesta a este sistema con objeto de reducir emisiones consiste en tratar mediante digestión anaerobia todos los lodos de PTAR, produciendo biogás que puede ser aprovechado energéticamente por la propia planta, y usando los lodos digeridos como fertilizantes orgánicos en agricultura.

Se han estimado las emisiones, tal y como viene descrito en la base de datos y el documento soporte que la acompaña, de las emisiones en esas dos situaciones. La diferencia en emisiones determina finalmente el potencial máximo de mitigación que plantea esta medida M3.

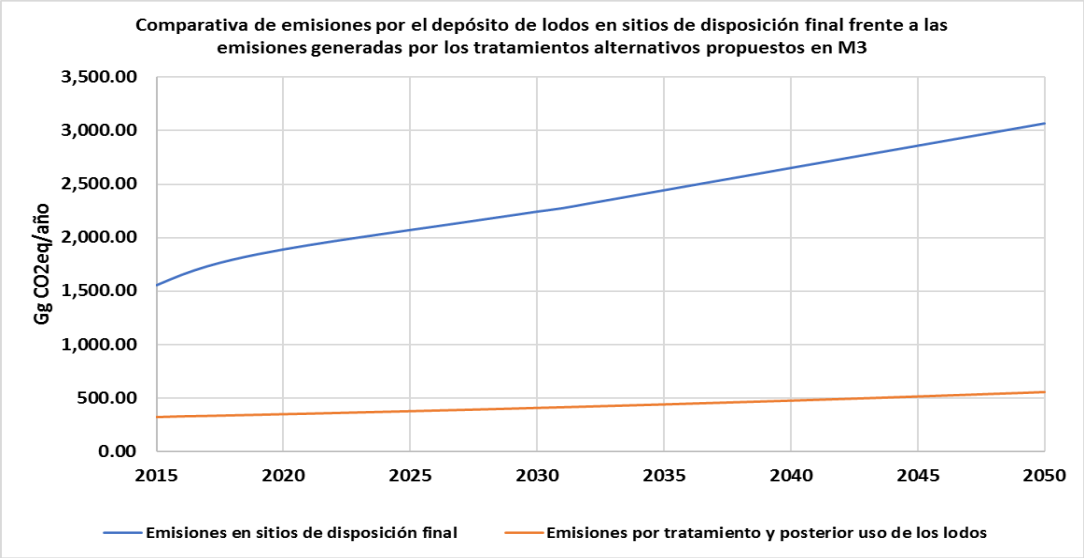
Los resultados obtenidos son:

Tabla 26. Potencial de abatimiento de la medida de mitigación M3.

	2020	2030	2040	2050
Reducción de emisiones por el tratamiento y reutilización de los lodos en PTAR frente a su disposición en relleno sanitario	81.63%	81.91%	82.12%	81.94%

A continuación, se muestra la evolución de las emisiones derivadas del depósito en sitios de disposición final para todo el periodo frente a las emisiones derivadas del tratamiento de los lodos por digestión anaerobia y su posterior uso como fertilizante en agricultura.

Figura 33. Evolución de las emisiones de GEI derivadas del depósito de lodos en rellenos sanitarios frente a las generadas por el tratamiento y posterior uso de dichos lodos.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 27. Reducción de emisiones de GEI del escenario potencial máximo de la medida de mitigación M3.

Escenario	Sector IPCC en el que computa	2020	2030	2040	2050
		(GgCO ₂ eq/año)			
Escenario Potencial Máximo de Mitigación	Sector residuos (residuos sólidos)	1,541.31	1,835.61	2,175.15	2,510.69
	Sector AFOLU				

7.3.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida

Las metas de reducción de emisiones de GEI condicionadas y no condicionadas recogidas en los compromisos de las NDC de México se han establecido como una reducción en porcentaje del total de las emisiones generadas en el país, sin segregaciones entre los diferentes sectores identificados en el Inventario Nacional.

Sin embargo, tanto la 5ª Comunicación Nacional como el BUR de México, recogen las reducciones de emisiones previstas a 2030 desglosadas por sector (ver Figura 3). En dicha figura se observa una reducción prevista de las emisiones del sector residuos, en el que se encuentra el subsector de las aguas residuales, de aproximadamente un 28.6% de las emisiones proyectadas en el escenario BaU al año 2030. La reducción total a 2030 se estima en un 22% respecto al escenario BaU estimado a dicho año.

Dado que la línea base empleada en la NDC y 5ª Comunicación Nacional es diferente a la que actualmente se tiene en México, actualizada con la 6ª Comunicación Nacional, los datos de reducción de emisiones alcanzables por la implementación de las medidas propuestas en este documento no son comparables con la línea base de la NDC y, por tanto, solo pueden compararse con la línea base determinada en esta consultoría para el sector aguas residuales. Tampoco se

puede determinar qué porcentaje de emisiones se podría lograr mitigar con respecto al sector residuos (residuos sólidos + aguas residuales) puesto que en esta consultoría se desconoce la nueva línea base a 2030 del sector residuos.

Cabe mencionar que, tal y como se ha comentado anteriormente, la reducción de emisiones lograda por la implementación de esta medida M3 correspondería al sector de los residuos sólidos, e implicaría un aumento de las emisiones en el sector agricultura por el uso de fertilizantes orgánicos.

En la sección 8 de este documento puede observarse un análisis del potencial de mitigación conjunto de las 4 medidas respecto a la línea base (escenario BaU) planteada por esta consultoría para el sector aguas residuales.

7.3.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida

Tal y como se ha descrito anteriormente, esta medida requiere de un levantamiento de información notablemente importante. Se ha analizado la poca información disponible y se ha llegado a la conclusión de que no hay información suficiente para determinar un valor de costo marginal de abatimiento que quede mínimamente respaldado con datos fiables.

Se considera de gran importancia que se lleve a cabo el levantamiento de información necesario descrito anteriormente y, en base a ello, establecer unos parámetros ajustados y realistas de la situación del país. Establecer múltiples supuestos, sin base que sustente ninguno de ellos, para obtener un valor de alta incertidumbre, no se considera lo más apropiado dada la situación de esta medida al día de hoy, y podría llevar a una incorrecta interpretación de los datos aportados.

7.4. Medida de mitigación M4: Aumento del tratamiento de ARI respecto al caudal de aguas captadas

7.4.1. Descripción, objetivos y plazos de ejecución de la medida

Esta medida de mitigación ha sido priorizada, por el grupo de trabajo establecido para esta consultoría, para su implementación en la ruta tecnológica y de instrumentación debido a la importancia de las emisiones derivadas de las ARI no tratadas. Las emisiones de ARI representan el 74.50% de las emisiones totales de aguas residuales en México en el año 2015, de las cuales el 87% corresponde a las ARI no tratadas, por lo tanto, el 65% de las emisiones de GEI del sector de las

aguas residuales de México están siendo producidas por las ARI que no reciben tratamiento (todos los datos corresponden al año 2015).

El objetivo principal de esta medida de mitigación consiste en la reducción de la fracción de las ARI que no están siendo tratadas en el país por debajo de los valores determinados en el escenario BaU, el cual muestra como la tendencia natural en los últimos años es descendente y se espera sea así a futuro. Por tanto, el plazo de ejecución propuesto se extendería desde 2019 hasta 2050.

Dado que esta medida de mitigación no ha sido planteada en ningún documento oficial de planificación de México, no existen metas oficiales relativas a su implementación. Esto determina que, para esta medida M4, los objetivos a alcanzar se hayan fijado en base a la experiencia del consultor y a los datos de los últimos años y el comportamiento del escenario BaU. El escenario BaU refleja que la tendencia de este tipo de ARI es descendente para todo el periodo proyectado, sin embargo, estas ARI no tratadas siguen siendo muy superiores a las ARI tratadas. Con el objeto de revertir esta situación, el objetivo que se fija para esta medida es lograr que, antes de 2040, sea mayor el volumen de ARI tratada que el de la no tratada, y que antes de alcanzar 2050, las emisiones por las ARI tratadas sean ya mayores que por ARI no tratadas. Este objetivo se logra aplicando el siguiente criterio: para el año 2025 se propone reducir un 5% la fracción de ARI no tratada del BaU, para el 2030 la variación porcentual será de un 10% superior a la del BaU, de un 15% en el 2035, de un 20% en el 2040, y de un 30% y 35% para los años 2045 y 2050 respectivamente.

7.4.2. Escenario propuesto para la medida

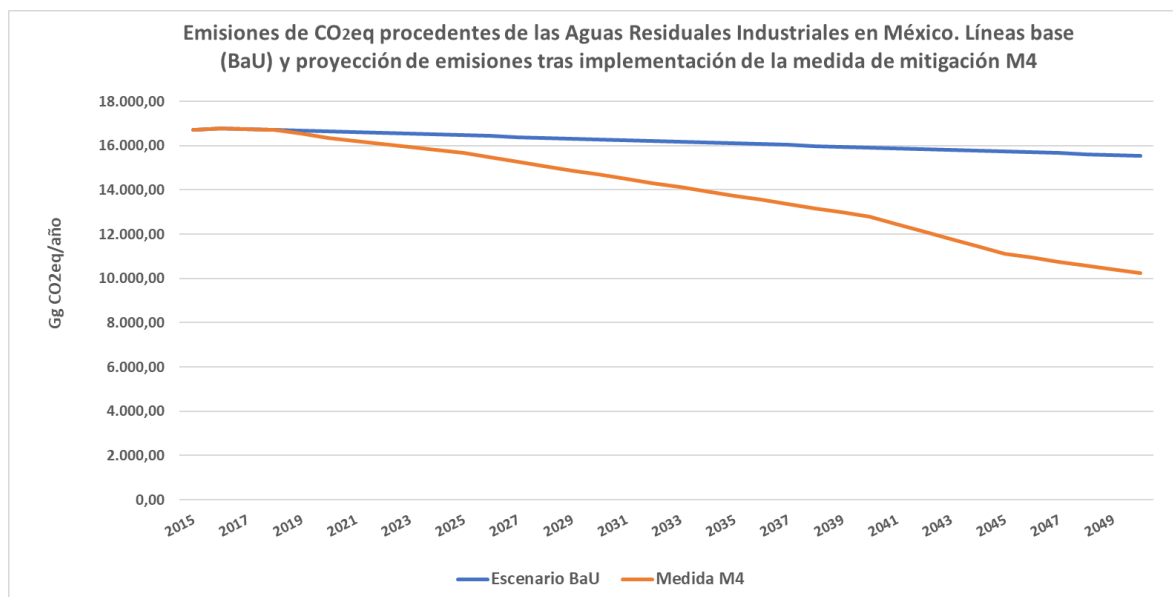
No se proponen escenarios diferentes de la medida de mitigación, sino que se propone un único escenario de potencial máximo de mitigación mediante la reducción de la fracción de ARI que no reciben tratamiento.

Tabla 28. Resumen del escenario propuesto para la implementación de la medida de mitigación M3.

Nombre del escenario	Descripción / Objetivos
Escenario Potencial Máximo de Mitigación	El escenario propone reducir anualmente la fracción de ARI que no reciben tratamiento para pasar a ser tratadas. Estos objetivos sobre la reducción del porcentaje de ARI no tratadas han sido establecidos por el consultor a partir del año 2019. La reducción del porcentaje de ARI no tratadas se propone respecto al porcentaje de ARI no tratada establecido en el BaU. En base a esto, se propone reducir un 5% (todo respecto al BaU) en 2025, un 10% en 2030, un 15% en 2035, un 20% en 2040, un 30% en 2045 y un 35% en 2050.

Tras el análisis de la medida de mitigación M4, se obtiene la siguiente evolución de las emisiones:

Figura 34. Evolución de las emisiones de GEI de los procesos propuestos en la medida de mitigación M4.



Fuente: elaboración propia.

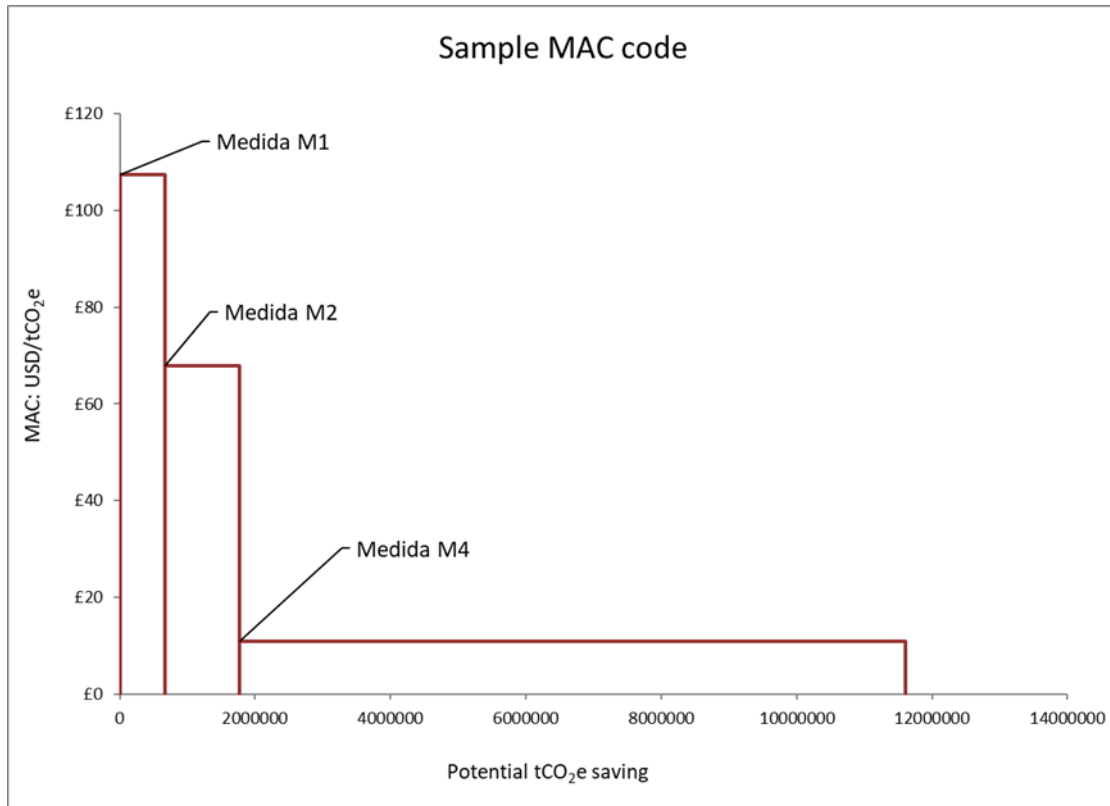
La gráfica anterior muestra el máximo abatimiento de GEI posible esperable de la implementación de la medida de mitigación M4 debido a la reducción de la fracción de ARI no tratadas.

7.4.3. Actores responsables de la medida

El actor responsable del seguimiento de la medida, al tratarse de aguas residuales, sería el departamento específico de la CONAGUA que actualmente actúe como responsable del seguimiento y gestión de las aguas residuales industriales.

Al igual que en los casos anteriores, la relación entre los actores responsables identificados se recoge con más detalle en la sección relativa al sistema MRV de esta medida (ver

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.
- SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.
- Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

- H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.
- SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán
- SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.
- Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.
- INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)
- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)).

7.4.4. Alineación con los instrumentos de la política nacional y Marco político y normativo vigente

A nivel general, la medida se encontraría principalmente alineada con la Ley General de Cambio Climático y la Ley de Aguas Nacionales (ambas expuestas al comienzo de este documento). A nivel nacional, la obligación de ampliar la colección de aguas residuales y el incremento de la cobertura de tratamiento es responsabilidad de los tres órdenes de gobierno (municipal, estatal y federales).

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con las siguientes normativas nacionales que se mencionan a continuación:

- **NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales** (será modificado por la NOM-001-SEMARNAT-2017)⁸²: el objetivo de esta norma es proteger la calidad y posibilitar el uso de las masas de agua de México y establece que es obligatorio para los responsables de las descargas de aguas residuales observar la calidad de las mismas.
- **NOM-CCA-031-ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal**⁸³. Esta normativa recoge las características relativas a límites de tipos de contaminantes que pueden tener las aguas residuales industriales para que éstas puedan ser vertidas a la misma red de alcantarillado utilizada para las ARM.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público**⁸⁴. Esta normativa recoge la obligación de no sobrepasar los límites máximos establecidos de algunos contaminantes para las aguas residuales tratadas que vayan a ser reutilizadas en otros servicios públicos, cuya aplicación es obligatoria para todas las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

De forma más específica, la medida de mitigación estaría alineada con los siguientes instrumentos de la política nacional:

⁸² Norma disponible en el siguiente enlace

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018

⁸³ Norma disponible en el siguiente enlace http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4794213&fecha=18/10/1993

⁸⁴ Norma disponible en el siguiente enlace <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3297/1/nom-003-semarnat-1997.pdf>

- **Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013 - 2018⁸⁵:** Este plan engloba todas las metas nacionales globales que a continuación serán desarrolladas de forma más específica. El plan se centra en 5 ejes principales y el eje que recoge las metas relativas al cambio climático y las aguas residuales más específicamente, es el eje 4 “México Próspero”, y más concretamente:
 - Objetivo 4.4. Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente.
- **Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2013 - 2018⁸⁶,** el cual es parte del Programa Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 de México. Centra su objetivo número 5 en “Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo”. Entre las estrategias recogidas en este objetivo, aquella relacionada directamente con el agua en la Estrategia 5.1. Proteger los ecosistemas y el medio ambiente y reducir los niveles de contaminación en los cuerpos de agua. Las acciones concretas sobre aguas residuales dentro de la estrategia son:
 - Línea de acción 5.1.6. Sanear las aguas residuales municipales e industriales con un enfoque integral de cuenca y acuífero.
 - Línea de acción 5.1.7. Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de las aguas residuales existente.
 - Línea de acción 5.1.8. Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.
- **Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2014 – 2018⁸⁷:** este programa recoge la vulnerabilidad del país a los efectos del cambio climático y establecen unas metas nacionales compuestas por objetivos y estrategias específicas para intentar reducir los efectos adversos del cambio climático en el territorio. En el Objetivo 4 del programa se menciona “Reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), proporcionando co-beneficios de salud y bienestar”, así mismo se señala como Estrategia:
 - Estrategia 4.2. “Reducir emisiones de metano en plantas de tratamiento de aguas residuales”.
- **Programa Nacional Hídrico (PNH) 2013 – 2018⁸⁸:** al igual que en el PECC, en PNH recoge las metas propuestas a nivel nacional con el fin de proteger y conservar el agua nacional mediante estrategias específicas. En el Objetivo 3 del programa se recoge “Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, y en su Estrategia 3.3. se señala “Sanear las aguas residuales municipales e

⁸⁵ El plan nacional puede consultarse en el siguiente enlace <http://pnd.gob.mx/>

⁸⁶ El programa puede consultarse en el siguiente enlace <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/Documents/PROMARNAT%202013-2018.pdf>

⁸⁷ Programa disponible en el siguiente enlace http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf

⁸⁸ Programa disponible en el siguiente enlace <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/PNH2014-2018.pdf>

industriales con un enfoque integral de cuenca hidrológica y acuífero”. Esta estrategia tiene las siguientes líneas de acción:

- Línea de acción 3.3.1. Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales.
- Línea de acción 3.3.2. Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales.

Tras la elaboración de esta ruta tecnológica, las siguientes administraciones deberían incluir en los próximos instrumentos de planeación PECC y PNH las estrategias y líneas de acción especificadas en este documento que no se estén contemplando actualmente, además de mantener y completar las especificaciones de las acciones existentes y que se tienen en consideración en esta RTI.

7.4.5. Programas de financiamiento específico

Los programas de financiamiento para esta medida de mitigación serán los mismos que los identificados en las medidas de mitigación M1 y M2. En el caso concreto del tratamiento de las aguas residuales industriales, el financiamiento se considera será un limitante de gran importancia a la hora de tomar decisiones puesto que las industrias deberán hacerse cargo de un costo que no proporcionará ningún beneficio a su producción, aunque si generará un beneficio al medio ambiente.

El financiamiento puede ser internacional, generalmente proporcionado por bancos multilaterales, o financiamiento nacional, que está proporcionado tanto por bancos y fondos nacionales como por el estado.

A continuación, se expondrán las fuentes de financiamiento nacional e internacional más representativas para la obtención de apoyos económicos para la implementación de medidas relativas al sector de las aguas residuales.

7.4.5.1. *Financiamiento nacional*

Los mecanismos de financiamiento nacionales pueden proceder tanto de fondos gubernamentales como de bancos nacionales. Puesto que la implementación de la medida de mitigación lleva consigo la construcción, rehabilitación y expansión de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, puede ser financiada por las fuentes de financiamientos identificadas en la medida de mitigación M1 (ver 7.1.5 *Programas de financiamiento específico*).

7.4.6. Identificación de sinergias entre metas de mitigación y adaptación para el sector en lo relativo a la medida

En las NDC de México se recogen metas condicionadas y no condicionadas sobre adaptación al cambio climático, además de las ya conocidas metas sobre mitigación al cambio climático. En sus

metas de adaptación no condicionadas se recogen algunas concretas relacionadas directamente con la medida de mitigación M1. Estas medidas de adaptación al cambio climático son las que siguen:

- Para la adaptación basada en ecosistemas:
 - Garantizar la gestión integral del agua en sus diferentes usos (agrícola, ecológico, urbano, industrial y doméstico): esto conlleva un tratamiento eficiente de las ARM generadas en el país. Por ello, se requiere la realización de tratamientos eficientes de dichas aguas residuales para evitar la contaminación de las masas de agua en las descargas y poder conservar la calidad de las masas de agua del país.
- Para la adaptación basada en la infraestructura estratégica y sectores productivos:
 - Garantizar y monitorear el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales en asentamientos humanos mayores a 500,000 habitantes: requiere de un control de la cantidad y calidad de las aguas que son tratadas en zonas urbanas de México, con lo que es necesario establecer un sistema de monitoreo (MRV) exhaustivo por parte de las organizaciones responsables del sector de las aguas residuales.
 - Incorporar criterios de adaptación en proyectos de inversión pública que consideren construcción y mantenimiento de infraestructura: dado que la medida de mitigación propuesta podría conllevar la construcción de nuevas infraestructuras de tratamiento (PTAR y redes de alcantarillado) además de requerir de un mantenimiento eficiente de las infraestructuras existentes con el fin de garantizar un correcto tratamiento de las aguas residuales.

7.4.7. Co-beneficios para las comunidades donde se ubican las PTAR relativos a la implementación de la medida

Se han identificados una serie de co-beneficios que podrían darse tras la implementación de la medida de mitigación M4, que han sido recogidos en la tabla a continuación:

Tabla 29. Identificación de los principales co-beneficios por la implementación de la medida

Co-beneficios de la implementación de la medida de mitigación M4
• Reducción de contaminantes/carga orgánica de las masas de agua nacionales por el tratamiento en las PTAR de las aguas residuales industriales que antes no recibían tratamiento y eran vertidas directamente a esas masas de agua contaminándolas. • Reducción de las afecciones a la salud humana dado que la contaminación de las aguas nacionales es uno de los focos principales de enfermedades humanas reconocidos, por la ingesta de aguas no potables por no cumplir con las características suficientes en cuanto a calidad. A pesar de ser conocedores de la relación directa entre las afecciones a la salud humana y la contaminación de las aguas, es difícil establecer cuantitativamente

este aspecto. Por lo tanto, se considera un co-beneficio cualitativo y no cuantitativo de la implementación de la medida M1 (cobeneficio cualitativo).

- **Aumento de la calidad del paisaje** debido a la reducción de los focos de contaminación de las masas de agua el vertido de ARI sin previo tratamiento a los mismos.
- **Mejora de la imagen de la industria** por su contribución a la mejora medioambiental de la zona.

7.4.8. Riesgos y barreras institucionales, regulatorias, financieras y de mercado

Tabla 30. Identificación de las posibles barreras en la implementación de la medida de mitigación M2.

Barreras de disponibilidad e intercambio de información
• La disponibilidad de información en este tipo de medidas en las que se encuentra involucrado el sector privado es generalmente complicada, puesto que la información sobre este tipo de parámetros como la cantidad de aguas residuales generada, o los datos sobre producción, suelen considerarse como información confidencial. • Sería necesario establecer mecanismos efectivos de colaboración entre el sector privado y el sector público para poder llevar a cabo un correcto y transparente seguimiento de esta medida.
Barreras económicas/financieras
• El financiamiento es un factor limitante en los proyectos en los que una gran parte de la aportación la deben hacer las propias industrias que tratarán sus ARI en la infraestructura que vayan a construir. • Posibles elevados costos de inversión necesarios para la ejecución de los proyectos requeridos para la implementación de la medida. • No se conoce ni a un año vista el presupuesto del que se dispone para abordar los proyectos relacionados con la implementación de esta medida, esto dificulta enormemente la planificación del financiamiento.
Barreras tecnológicas
• De forma adicional a los beneficios ambientales a nivel general que esta medida puede ofrecer, en lo que a la reducción de emisiones de GEI se refiere por la reducción de las ARI no tratadas, la medida M4 requiere que esto se haga a través de tratamientos aerobios bien gestionados, es decir, en ningún caso fomentar procesos anaerobios. Este tipo de tratamientos, los anaerobios, son con frecuencia de menor complejidad en cuanto al mantenimiento técnico y de costos.

Barreras jurídicas
Existe actualmente normativa que establece los límites máximos de vertido de contaminantes de las ARI (tanto a la red municipal como a una masa de agua), sin embargo, al no existir normativa que regule el seguimiento de la gestión de estas aguas, la aplicación de esta normativa puede estar no siendo efectiva.
Barreras sociales y de capacitación
Falta de conocimientos técnicos para la operación y mantenimiento de la planta, lo que puede derivar en una mala operación y/o mantenimiento de la misma, que se traduzca en un aumento final de las ARI no tratadas. - Baja importancia de los aspectos ambientales en las políticas de empresa.

7.4.9. Identificación de instrumentos para la implementación de la medida

A continuación, se muestran los principales instrumentos identificados para la implementación de la medida de mitigación M4, clasificados en instrumentos institucionales, económico/financieros y sociales y de capacitación.

Tabla 31. Identificación de los posibles instrumentos para el logro de los objetivos marcados en la medida

Instrumentos institucionales
Coordinación interinstitucional de las entidades de los 3 órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) con el sector privado. Coordinación entre CONAGUA, las Comisiones Estatales del Agua y Saneamiento de México (CEAS), la Confederación de Cámaras Industriales de México (CONCAMIN) y el sector privado. - Asegurar la transparencia de la información, al menos entre el sector industrial y los organismos responsables del seguimiento de los indicadores relativos a esta medida de mitigación. - Establecer de forma oficial los mecanismos necesarios para implementar el sistema MRV propuesto en esta consultoría (ver sección - Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.

Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.

INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.

Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.

CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.

GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.

G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.

Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.

Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.

SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.

World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.

SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.

Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.

Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).

FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México

IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.

Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)

M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.

CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.

Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011

SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.

Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.

CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.

M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.

Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.

J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

- Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV) de este documento).

Instrumentos económicos/financieros

- Establecer incentivos a las industrias que decidan implementar esta medida de mitigación, por ejemplo, liberándoles o reduciéndoles de determinadas tasas/impuestos durante la construcción de las infraestructuras.
- Dedicar parte de los recursos presupuestarios del sector de las aguas residuales al sector industrial. Si las industrias reciben cierta ayuda para afrontar los costes de inversión iniciales, puede favorecer que el sector privado decida aceptar mejorar sus instalaciones.

Instrumentos legales

- Desarrollar normativa que permita **aumentar las sanciones** por el vertido de las ARI sin previo tratamiento.

- Desarrollar normativa que facilite desarrollar los mecanismos necesarios para que las **sanciones** impuestas por CONAGUA sean **efectivas** mediante obligaciones en el pago de las sanciones.
- Desarrollar normativa que permita **aumentar los costos de los derechos de descarga** por el vertido de las ARI sin previo tratamiento.
- Desarrollar una normativa que especifique el **tipo de industrias** (según el tipo de producción) que tienen obligación **de desarrollar infraestructura para el tratamiento de sus ARI generadas**.

Instrumentos sociales y de capacitación

- Desarrollar **programas de sensibilización** a las industrias.
- Promover el desarrollo de **servicios de capacitación**, evaluación y certificación para formar, capacitar, evaluar y certificar recursos humanos de los operadores de las plantas.
- Incrementar la **vigilancia** de las descargas siguiendo con el modelo actual de la CONAGUA junto con las Secretarías de Medio ambiente estatales. Estudiar la posibilidad de plantearse un modelo mixto de colaboración con terceros acreditados.

7.4.10. Análisis de opciones tecnológicas y sus tendencias a futuro

Las aguas residuales industriales tienen características muy distintas a las aguas residuales municipales, y a su vez varían notablemente dependiendo del tipo de industria en las que hayan sido generadas dichas aguas. Por ello, es necesario establecer un tipo de tratamiento de estas ARI acorde al tipo de industria que las esté generando.

Como secuencia general en el sector industrial podría considerarse que en primer lugar están los tratamientos encargados de ajustar el pH de las aguas y remover materia en suspensión (tratamiento físico-mecánicos), seguido de los tratamientos encargados de la remoción de materia orgánica coloidal y disuelta, concluyendo con los tratamientos terciarios que se encargan de la remoción de materia disuelta como gases y sustancia orgánicas naturales y sintéticas.

Atendiendo, en base a los datos que actualmente maneja el Inventario Nacional, a la tendencia de los tratamientos recibidos por las ARI en las plantas de tratamiento, se ha comprobado que la mayoría de estas aguas, sin distinción del tipo de sector del que provengan, reciben un tratamiento secundario.

Tal y como se comentaba en una de las barreras, se considera de importancia para lograr el objetivo de la mitigación de GEI a través de esta medida, que las ARI no tratadas pasen a ser tratadas mediante tratamientos secundarios aerobios bien gestionados y, en la medida de lo posible, que también incorporen tratamientos terciarios. Descartar, en cualquier caso, cualquier tipo de tratamiento anaerobio, principalmente lagunas de estabilización profundas (más de 2 metros de

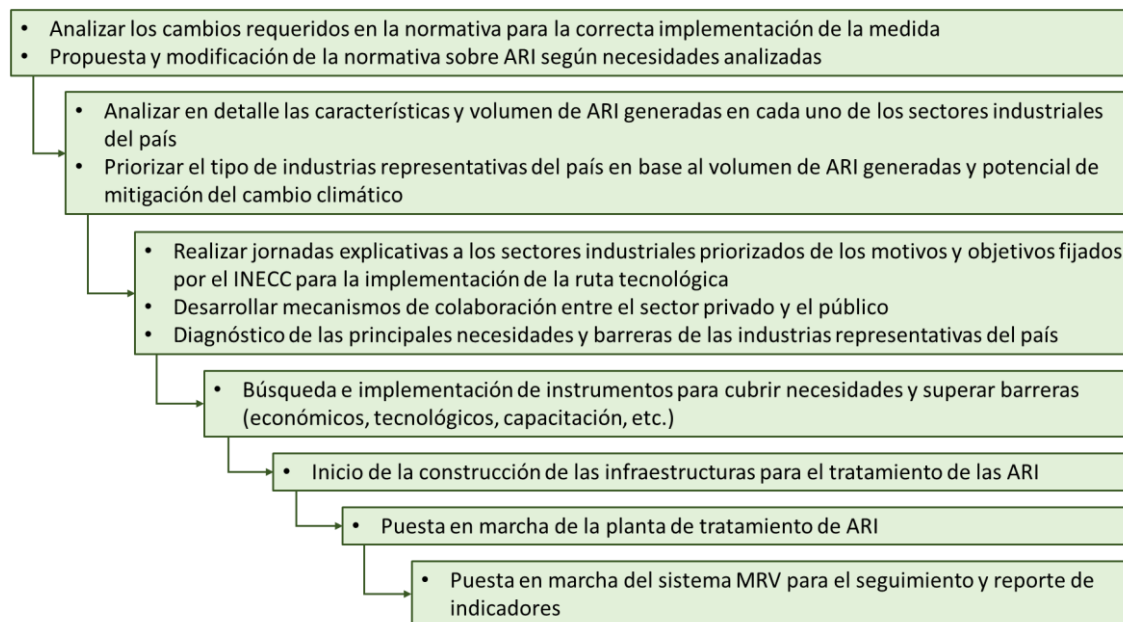
profundidad), sobre todo si estos tratamientos anaerobios no tienen asociado la captación de biogás y su posterior quema (con o sin aprovechamiento energético). En cuanto a las lagunas mencionadas, dado que requieren de amplios espacios de terrenos para poder verter las aguas, no parece sean una opción viable para las industrias.

7.4.11. Modelo de implementación de las acciones de la medida (insumos, actividades, productos, resultados)

El modelo de implementación de la medida de mitigación propuesta consiste en establecer el orden cronológico lógico a la implementación de la misma, teniendo en consideración los pasos necesarios a realizar.

A continuación, y de forma genérica, se muestran los pasos a dar estimados para una correcta implementación de la medida de mitigación:

Figura 35. Pasos a dar en el modelo de implementación en orden cronológico.



Fuente: Elaboración propia en base a las aportaciones de los actores clave.

Para la implementación de la medida de mitigación M4, se considera conveniente comenzar por llevar a cabo un análisis detallado de la normativa existente en todo el territorio sobre las aguas residuales generadas en las industrias. Todos los actores clave involucrados de alguna forma con la gestión y tratamiento de las aguas residuales industriales deben participar en esta etapa para lograr establecer unas bases sólidas y aceptadas desde el principio por todos estos actores clave involucrados. Del análisis de la normativa existente, se identificarán aspectos que resultan relevantes para modificar y/o incluir en la normativa federal/estatal/municipal para lograr implementar la medida de mitigación propuesta. Estos aspectos deberán ser recogidos

formalmente para poder ser presentados a las instancias pertinentes para lograr esas modificaciones normativas.

El siguiente paso correspondería a la necesidad de generar información sobre la situación de las ARI a nivel nacional. Para ello, se deberá llevar a cabo un análisis detallado de las características y volúmenes de ARI generados en cada una de las industrias a nivel nacional para, posteriormente, agrupar los datos recabados por sectores industriales. Actualmente existe un listado no exhaustivo de plantas industriales, que es el que utiliza el Inventario Nacional de Emisiones, el cual tiene agrupadas dichas plantas en los principales sectores industriales. Sin embargo, se ha detectado con información procedente de CONAGUA, que la diferencia entre el volumen total de ARI generado y el volumen de ARI tratado por estas plantas es muy elevado, siendo estas ARI no tratadas una fuente importante de emisiones de metano. Aparte de este hecho relativo a las emisiones, es de interés para el país conocer con mayor precisión el estado de depuración de las aguas industriales, las cuales, por su naturaleza, pueden ser de altos niveles de toxicidad y pueden estar generando daños relevantes en los ecosistemas mexicanos.

Una vez conocidas las características y volúmenes de las ARI generadas en cada uno de los sectores industriales, se procedería a realizar una priorización de los sectores industriales sobre los que realmente es conveniente centrar esfuerzos y recursos. Por un lado, esta información será de base para el Inventario, para lograr una estimación más precisa de las emisiones de este sector, pero también será una priorización atendiendo a los criterios de cantidad de ARI generadas en el sector y el tipo de gestión que reciben esas aguas (que porcentaje de ARI se tratan, y que tipo de tratamiento reciben en cada uno de los sectores industriales). Además, en base a esta información, se podrá establecer de forma más precisa el potencial de mitigación de emisiones que podrían llegar a tener cada uno de los sectores industriales, actualizando los parámetros utilizados para construir esta medida de mitigación. Aquellos sectores que tengan un mayor potencial de reducción de emisiones, aquellos con mayores volúmenes de ARI generadas y los que generen ARI con mayores necesidades de tratamiento, serán priorizados para su análisis de emisiones asociadas en el inventario nacional, así como para la asignación de recursos y dedicación de esfuerzos.

Teniendo una priorización de los sectores industriales a analizar, el siguiente paso conllevaría un acercamiento a los mismos. Este punto será fundamental para que la implementación de la medida sea posible y exitosa. Para ello, se realizarán jornadas en las que se expondrá a los sectores industriales priorizados los motivos por los que se ha decidido tener en cuenta la medida de mitigación M4 recogida en la RTI dentro de la política climática del país. Para ello, se hará uso de las barreras, co-beneficios e instrumentos identificados en la RTI para su puesta en común con los representantes de los sectores industriales. Estas jornadas proporcionarán la información necesaria a los sectores industriales sobre el porqué de la necesidad de actuar sobre el tratamiento de sus aguas residuales generadas.

Una vez el ámbito industrial conoce las necesidades y responsabilidades que tienen desde un punto de vista ambiental, y social, debería procederse al desarrollo de mecanismos para la colaboración entre los sectores privado y público.

En paralelo a estos puntos (jornadas y desarrollo de mecanismos de colaboración), sería conveniente identificar las principales barreras y necesidades de cada uno de los sectores industriales priorizados en base a los comentarios realizados por los representantes de cada uno de estos sectores. La RTI identifica una serie de barreras generales para lograr la implementación de la medida, pero se obtendría información mucho más precisa de mano de estos sectores industriales y permitiría abordar de forma más eficiente las necesidades de cada uno. Esto, además, permitiría a cada sector industrial sentirse involucrado de forma específica en el proceso, permitiendo una más estrecha colaboración para lograr el objetivo final común de lograr implementar la medida.

Una vez conocidas las principales barreras y necesidades de los sectores industriales priorizados, se procedería a la búsqueda de instrumentos específicos que permitiesen superar cada una de estas barreras. En este punto, se requerirá de un análisis detallado de cada una de las barreras y del instrumento asociado a la misma.

Por último, se procedería a dar los pasos necesarios para lograr esos instrumentos para, una vez surjan las barreras, se tengan a disposición dichos instrumentos. A partir de aquí, acordar con los sectores industriales un calendario consensuado de construcción de infraestructuras necesarias para tratar mayor volumen de ARI, seguido de un calendario para la puesta en marcha de las plantas, y del sistema MRV que se propone en esta RTI para el seguimiento de los avances de la implementación de la medida.

7.4.12. Línea de tiempo para la implementación de la medida

La línea de tiempo corresponde a los hitos a alcanzar a lo largo del periodo de implementación de la medida.

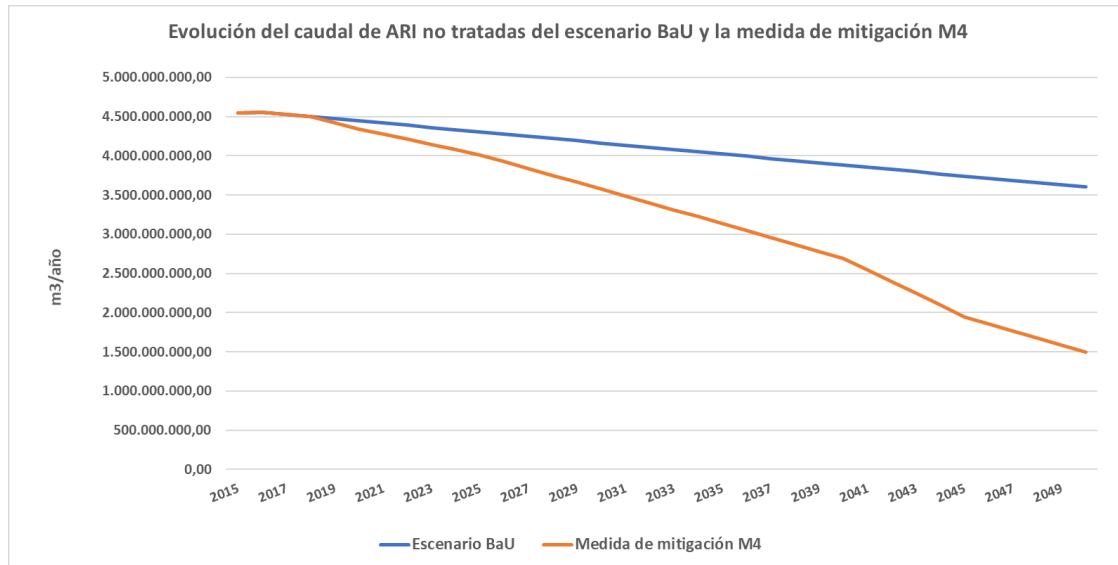
En la siguiente tabla se muestran las fracciones de ARI no tratadas proyectadas en el escenario BaU de las ARI y las fracciones de ARI no tratadas propuestas en esta medida de mitigación.

Tabla 32. Línea de implementación de los porcentajes de ARI no captadas que deben lograrse a 2050.

Parámetro	2020	2030	2040	2050
% ARI no tratadas en el BaU	76.20%	70.59%	65.21%	59.96%
% ARI no tratadas en la M4	74.00%	61.00%	45.00%	25.00%

La evolución del caudal de ARI no tratada en el escenario BaU y la medida de mitigación M4, se muestra en la Figura 36 a continuación.

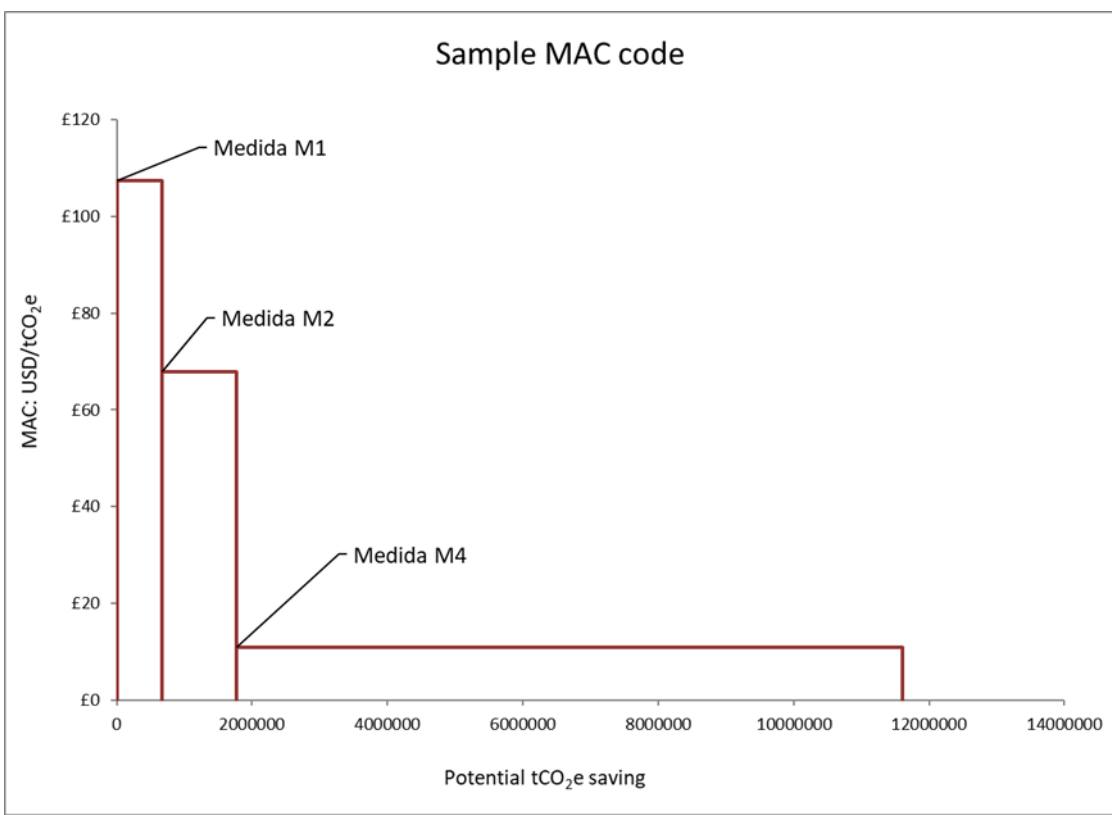
Figura 36. Evolución del caudal de ARI no tratadas propuesto para la medida de mitigación M4 respecto a la tendencia del caudal representado en el escenario BaU.



7.4.13. Elementos para la construcción o mejora del sistema MRV

Información disponible en

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



Bibliografía

CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.

A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.

Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.

CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.

INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)

SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.

SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.

SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.

Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.

Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.

SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)

INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016

CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.

CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

- Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)

- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011
- SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.
- CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.
- M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.
- Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)) de este documento.

7.4.14. Identificación de indicadores de seguimiento y de impacto

Información disponible en **Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo** de este documento.

7.4.15. Potencial de abatimiento de la medida

El potencial de abatimiento de la medida de mitigación consiste en la cantidad de emisiones de GEI que se lograrían reducir por la implementación de la medida respecto al escenario BaU planteado.

En la Tabla 33 se muestra el porcentaje de reducción en emisiones que se lograría alcanzar por la implementación completa de la medida M4 propuesta.

Tabla 33. Reducción de emisiones del BaU relativo a las ARI tras la implementación de la medida de mitigación M4.

Parámetro	2020	2030	2040	2050
Reducción de emisiones de M4 respecto al BaU de ARI	1.85%	9.78%	19.56%	34.20%

Tabla 34. Reducción de emisiones de GEI del escenario potencial máximo de la medida de mitigación M4.

Escenario	Sector IPCC en el que computa	2020	2030	2040	2050
		(GgCO ₂ eq/año)			
Escenario Potencial Máximo de Mitigación	Sector residuos (aguas residuales)	307.63	1,592.71	3,112.90	5,317.49

7.4.16. Niveles de cumplimiento para las metas condicionadas y no condicionadas de los NDC tras la implementación de la medida

Las metas de reducción de emisiones de GEI condicionadas y no condicionadas recogidas en los compromisos de las NDC de México se han establecido como una reducción en porcentaje del total de las emisiones generadas en el país, sin segregaciones entre los diferentes sectores identificados en el Inventario Nacional.

Sin embargo, tanto la 5ª Comunicación Nacional como el BUR de México, recogen las reducciones de emisiones previstas a 2030 desglosadas por sector (ver Figura 3). En dicha figura se observa una reducción prevista de las emisiones del sector residuos, en el que se encuentra el subsector de las aguas residuales, de aproximadamente un 28.6% de las emisiones proyectadas en el escenario BaU

al año 2030. La reducción total a 2030 se estima en un 22% respecto al escenario BaU estimado a dicho año.

Dado que la línea base empleada en la NDC y 5ª Comunicación Nacional es diferente a la que actualmente se tiene en México, actualizada con la 6ª Comunicación Nacional, los datos de reducción de emisiones alcanzables por la implementación de las medidas propuestas en este documento no son comparables con la línea base de la NDC y, por tanto, solo pueden compararse con la línea base determinada en esta consultoría para el sector aguas residuales. Tampoco se puede determinar qué porcentaje de emisiones se podría lograr mitigar con respecto al sector residuos (residuos sólidos + aguas residuales) puesto que en esta consultoría se desconoce la nueva línea base a 2030 del sector residuos.

Cabe mencionar que, tal y como se ha comentado anteriormente, la reducción de emisiones lograda por la implementación de esta medida M4 correspondería totalmente al sector de las aguas residuales.

En la sección 0

de este documento puede observarse un análisis del potencial de mitigación conjunto de las 4 medidas respecto a la línea base (escenario BaU) planteada por esta consultoría para el sector aguas residuales.

7.4.17. Costos marginales de abatimiento para el sector en base a curvas costo-beneficio para la medida

Para el cálculo de los costos marginales de la medida de mitigación M4, se han tomado otra serie de supuestos más acordes con las características de las aguas industriales que van a ser tratadas. Los cálculos se basan, al igual que en las medidas M1 y M2, en el documento elaborado por el IMTA sobre los costos de inversión y operación de las PTAR en México. Sin embargo, para este caso, puesto que los sistemas analizados para la obtención de las ecuaciones de la inversión se basan en los sistemas para ARM, se han tomado las siguientes consideraciones sobre la relación de los sistemas de ARM y los tratamientos de las ARI:

Tabla 35. Relación entre los sistemas de tratamiento del documento del IMTA y los tratamientos identificados para las ARI.

Tratamientos IMTA	Tratamientos Inventario Nacional
Primario avanzado	Primario
Lodos activados	Secundario
	Terciario
	No Especificado

Los costos salariales también varían sensiblemente respecto a los obtenidos para las ARM (medidas M1 y M2). En este caso, se ha tomado como supuesto un caudal de tratamiento de entre 0 y 100 l/s, en base a un listado de PTARs de ARI de CONAGUA, y una zona económica cara. El caudal de

tratamiento se ha establecido menor al supuesto en las ARM debido a que las plantas industriales, por lo general, tratan volúmenes más pequeños de ARI en relación con los volúmenes que pueden llegar a tratar las PTAR de ARM. De esta manera, se obtiene un costo salarial de 1,850,000 MXN anuales.

Por último, en lo que respecta al consumo energético de la planta, se ha tomado un valor de DBO mucho mayor al de las ARM. Este valor ha sido calculado en base a los datos de DQO asociados a los diferentes sectores industriales del país y mediante un factor de conversión, se ha transformado el valor de DQO en DBO (1,212 mg DBO/l). El valor de DBO sobrepasa los valores representados en el gráfico, por lo que se ha estimado una línea de tendencia en base a los datos del gráfico para un caudal de 100 l/s, obteniendo así una ecuación que permitiera estimar el consumo de energía para dicha cantidad de DBO en las ARI. En el caso de la medida M4 se requeriría un consumo energético de 3,693.69 kWh.

Así mismo, se ha supuesto que todo el volumen de ARI nuevo que deberá ser tratado en 2030 respecto al volumen de ARI a tratar en el escenario BaU, se tratará en nuevas infraestructuras.

Al igual que en los casos anteriores, se tomará como base la reducción de emisiones de GEI acumuladas a lo largo de los 15 años a estudio (2016 – 2030).

De esta manera, los costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M4 serán los representados en la tabla a continuación.

Figura 37. Costos marginales derivados de la implementación de la medida de mitigación M4

2030				
	CAUDALES		COSTOS	
	Q a instalar (m3/año)	INVERSIÓN	Salarios	Consumo energía
Primario Avanzado	292.370.576,14	659.465.615,16 MXN	171.513.687,80 MXN	4.811.583,62 MXN
Lodos Activados	297.664.672,47	1.116.618.854,51 MXN	174.619.369,63 MXN	4.898.709,31 MXN
TOTAL	590.035.248,61	1.776.084.469,67 MXN	346.133.057,44 MXN	9.710.292,92 MXN
Costo total (MXN)	2.131.927.820,03 MXN			
Emisiones reducidas (t CO2eq)	9.847.266,67			
Costo marginal (MXN/t CO2eq)	216,50 MXN			
Costo marginal (\$/t CO2eq)	10,85 USD			

La curva de costo marginal que recoge las 4 medidas de mitigación planteadas en esta RTI se muestra en la sección 0.

Aunque todos los escenarios de mitigación propuestos para cada una de las 4 medidas se han planteado a año 2050, en las tablas que se observan en esta sección 8 del documento tan solo se muestran los datos hasta 2030. Esto se debe a que esta sección está enfocada a la comparativa de

los resultados de mitigación esperables y su comparación con los datos de mitigación reportados por México en su NDC, que son a año 2030.

Tabla 36. Emisiones de GEI de la línea base (BaU) del sector de las aguas residuales.

	2018	2020	2025	2030
Línea Base (BaU) del sector de las aguas residuales (Gg CO ₂ eq/año)	22,232.96	22,036.54	21,731.53	21,543.53

Tabla 37. Reducción de las emisiones GEI, respecto al escenario BaU, derivadas de la implementación de cada una de las medidas de mitigación propuestas en esta consultoría.

Medida.	Sector IPCC en el que computa	2020	2025	2030
M1 ⁸⁹	Sector residuos (aguas residuales)	12.88	61.97	106.59
M2 ⁹⁰		46.99	189.37	348.99
M4		307.63	805.27	1,592.71
Total reducciones (M1+M2+M4)		354.62	994.64	1,941.70
M3	Energía / Residuos sólidos	1,541.31	1,694.55	1,835.61
Total reducciones (M1+M2+M3+M4)		1,895.93	2,689.19	3,777.31

NOTA¹: Para el cálculo del total de la reducción de emisiones de GEI únicamente se tienen en cuenta las medidas de mitigación M2 y M4, la explicación se encuentra detallada abajo.

La medida de mitigación M2 se presenta como una medida adicional a la medida M1, por lo tanto, contabilizar las reducciones de ambas medidas (M1 y M2) llevaría a una doble contabilización de emisiones reducidas.

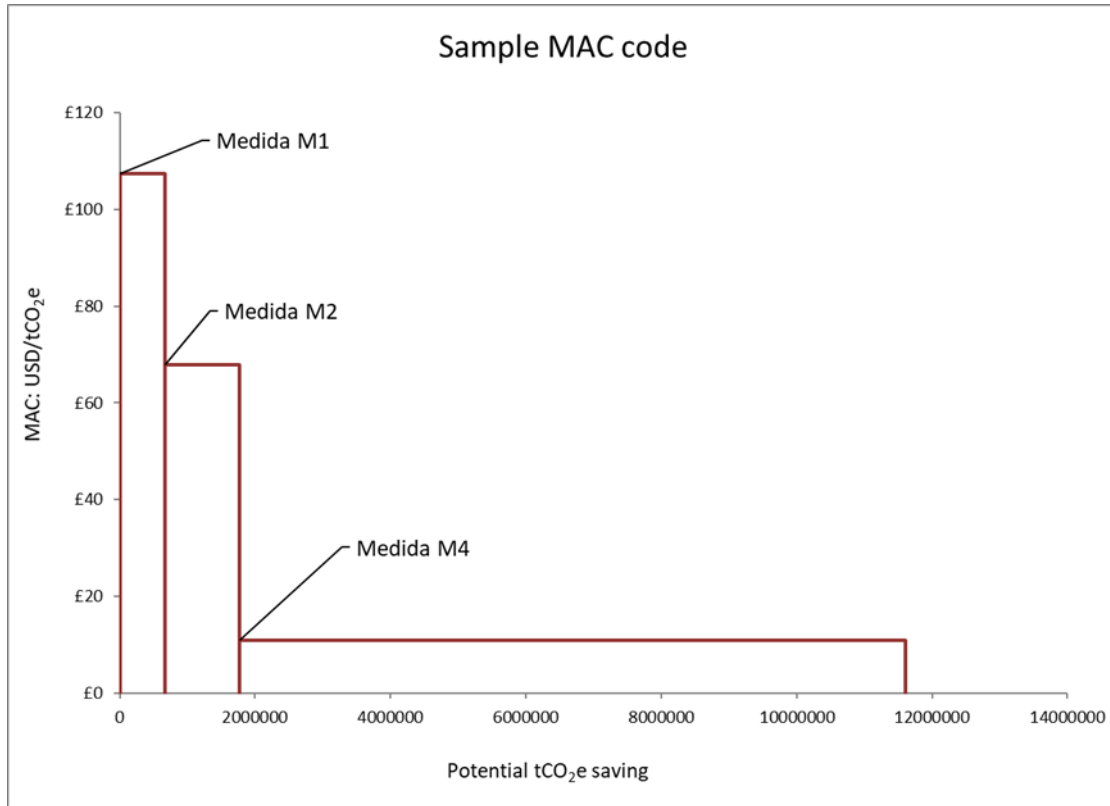
Tabla 38. Porcentaje de reducción de las medidas de mitigación respecto a las emisiones de GEI del BaU en el sector de las aguas residuales.

Medida de mitigación	2020	2025	2030
% Reducción de emisiones de las medidas respecto al BaU	1.61%	4.58%	9.01%

⁸⁹ Escenario CONAGUA

⁹⁰ Escenario potencial. Incluye las reducciones debidas a M1

Figura 38. Gráfica MAECC - Costos marginales derivados de la implementación de las medidas de mitigación



8. Bibliografía

- CONAGUA, Subdirección General de Agua Potable, 2018, Drenaje y Saneamiento. Proyectos Estratégicos Agua potable, drenaje y saneamiento.
- A. Noyola et al, 2018, Science of the Total Environment 639, 84-91, Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, CONAGUA, 2017. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2017.
- CONAPO, SEGOB, 2017, Proyecciones de la población 2010-2050.
- INECC, 2017, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)
- SHCP, 2017, Plan Anual de Financiamiento 2018.
- SENER, 2017, Mapa de Ruta Tecnológica en Energía del Océano.
- SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Análisis de instrumentos de política pública para estimular la valorización energética de residuos urbanos en México y propuestas para mejorarlos y ampliarlos (ENRES).
- SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Fuentes de recursos para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México.
- SENER, SEMARNAT, GIZ, 2017, Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- E. Rodríguez Ramírez et al., C40 Cities, SEDEMA, 2016, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020, informe de avances.
- Gobierno de la República de México, SEMARNAT, CONAGUA, 2004-2016, Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2016, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2016.
- SEMARNAT, SENER, IMTA, Subcoordinación de tratamiento de aguas residuales, Coordinación de tratamiento y calidad del agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2016, Informe final, Revisión y actualización del potencial de biomasa para generación de energía eléctrica a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales presentado en el Inventario Nacional de Energía Renovables (INERE)
- INECC, 2016, Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs), México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2016, Estadísticas del Agua en México, edición 2016
- CONAGUA, 2016, Atlas del Agua en México.
- CONAGUA, Subdirección General de Planeación Gerencia de Cooperación Internacional, 2016, Panorama Financiero del Agua (PAFIAGUA).

- Gobierno de la República de México, 2015, Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020 - 2030
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2015, Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, INECC/SEMARNAT, México.
- Gobierno de la República de México, 2015, Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de México.
- INECC, 2015, Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Información de Interés Nacional. Consideraciones Metodológicas 1990-2012 y 2013.
- Naciones Unidas, 2015, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Aprobación del Acuerdo de París.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2015, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC). Logros 2015.
- CONAGUA, 2015, Atlas del Agua en México.
- GIZ, 2015, MRV, Medición, Reporte, Verificación. Como establecer un Sistema Nacional de MRV.
- G. Velasco Rodríguez et al., 2014, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C., SEDEMA, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 – 2020.
- Dr. M. A. Mancera Espinosa et al., SEDEMA, 2014, Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- CONAGUA, 2014, Atlas del Agua en México.
- Gobierno de la República, SENER, 2014, Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
- Gobierno de España, MAPAMA, OECC, 2014, Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020.
- SENER, 2014, Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- World Resources Institute, Greenhouse Gas Protocol, 2014, Estándar de política y acción.
- SEMARNAT, INECC, Consejo de Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2013, Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 – 20 – 40.
- Fundación Chile y Gobierno de Chile CONAMA, 2013, Tecnología de Lagunas Aireadas, Tecnología Convencional de tipo Biológico.
- Noyola, Adalberto et al., Instituto de Ingeniería UNAM, IDRC/CRDI, Canadá, 2013, Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.
- Gobierno de la República, SEMARNAT, 2013, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Especial de Cambio Climático 2014 - 2018 (PECC).
- FAOSTAT, 2013, Consumo de proteína per cápita de México
- IPCC, 2013, AR5: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Table 8.A.1 (page 732), Cambridge y Nueva York, Reino Unido y EEUU.
- Gobierno de la República, 2013, Programa Nacional de Infraestructuras 2014 - 2018.

SEMARNAT, SNIARN, 2013, Capítulo 7. Residuos.

Ley Nacional de Cambio Climático del Estado de México, 2013.

H. Octavio Rojas Suazo, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México.

SEMARNAT, INECC, 2012, Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Agenda del Agua 2030. Avances y logros 2012.

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa X Golfo Centro

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán

SEMARNAT, CONAGUA, 2012, Programa Hídrico Regional. Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018.

Gobierno de la República, 2012, Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

INECC, SEMARNAT, 2012, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.

Gobierno Federal, SEMARNAT, 2012, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Gobierno de la República, 2012, Plan Nacional de Desarrollo 2013 - 2018, Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT)

- M. Vázquez et al., Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental, 2011, Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología.
- CONAGUA, 2011, Atlas del Agua en México.
- SEMARNAT, CONAGUA, 2011, Agenda del Agua 2030.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Peru, 2011, Estimación del volumen de aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entinaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011
- SEMARNAT, INE, 2010, Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.
- Muñoz Couto, Rodrigo. Tesis profesional en Licenciatura en Ingeniería Civil, 2009, Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Capítulo 2. Fundamentos del Tratamiento Biológico.
- CONAGUA, 2009, Atlas del Agua en México.
- M. Breceda Lapeyre et al., 2008, Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008 – 2012, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno Federal, SEMARNAT, 2008, Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 - 2012.
- Paustian, K. et al., 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- INECC, SEMARNAT, 2006, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos.
- IMTA, CONAGUA, 2002, Aplicación de costos índice de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- J. Glynn Henry; Gary W. Heinke, 1990, Ingeniería Ambiental, 2ª Edición. ISBN: 970-17-0266-2.

Anexo I: Esquema sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV)

A1.1. Contexto, descripción y metodología

Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) son los elementos clave para garantizar una mayor transparencia, precisión y comparabilidad de la información con respecto al cambio climático. MRV es un término usado para describir todas las acciones adoptadas durante el levantamiento de datos de emisiones, la compilación de esta información en los documentos y su revisión o análisis. En este caso, se aplica la misma metodología para el seguimiento de las medidas definidas en la RTI.

Figura 39. Sistema MRV



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Elementos del MRV

Medir o monitorizar (M)	Monitorizar datos e información sobre emisiones, acciones de mitigación y apoyo. Esto puede implicar la medición física directa de emisiones GEI, la estimación de emisiones o de reducción de emisiones utilizando datos de actividad y factores de emisión, el cálculo de cambios relevantes para el desarrollo sostenible, y la recopilación de información sobre el apoyo a la mitigación del cambio climático.
Reportar (R)	Reportar mediante la compilación de esta información, en inventarios y otros formatos estandarizados para que sea accesible para una amplia gama de usuarios y faciliten la divulgación pública de información.
Verificar (V)	Verificar sometiendo periódicamente la información reportada a alguna forma de revisión, análisis o evaluación independiente para establecer integridad y fiabilidad. La verificación ayuda a garantizar la precisión y la conformidad con los procedimientos establecidos, y puede proporcionar feedback significativo para la mejora futura.

Fuente: Elaboración propia

A1.2. ¿Por qué un sistema MRV?

El MRV ayuda a determinar si se está en la vía de lograr los objetivos, pero también:

- Facilita la toma de decisiones y la planificación nacional
- Destaca lecciones aprendidas y buenas prácticas
- Genera información comparable, transparente
- Apoya la implementación del plan y genera retroalimentación sobre su efectividad
- Incrementa la probabilidad de obtener apoyo internacional
- Promueve la coordinación y la comunicación entre los sectores emisores
- Visibiliza los co-beneficios y propuesta de valor de las medidas implementadas.
- Puede demostrar aportes en reducción de la vulnerabilidad e incremento de la capacidad adaptativa, demostrando contribución a todos los componentes de la NDC del país

A1.3. Metodología y principios

El MRV debe demostrar que la RTI promueve el desarrollo sostenible, más allá de la mera reducción de emisiones. Para el proceso de definición del sistema MRV, se ha tomado como referencia, entre otros, el documento “Estándar de Política y Acción”⁹¹ del Green House Gas (GHG) Protocol (WRI/WBCSD), en los capítulos 10 y 11 (monitoreo), capítulo 13 (verificar) y capítulo 14 (reporte). Este documento incluye todos los pasos necesarios individuales como la definición de cadenas causales, punto de referencia, límites, metodologías de cuantificación, reportes y verificación.

El sistema de MRV permite obtener información consistente, transparente y precisa y proporciona confianza a las partes interesadas de que los resultados presentados son creíbles. El sistema MRV propuesto en este documento ha sido definido teniendo en cuenta los siguientes principios:

- **Transparencia** significa que los supuestos y metodologías utilizados se deben explicar de manera clara para facilitar la reproducción y la evaluación por parte del usuario de la información reportada.
- **Coherencia** significa que debe ser coherente a nivel interno en todos sus elementos.
- **Comparabilidad** significa que estimaciones reportadas deben ser comparables.
- **Precisión** es una medida relativa de exactitud de una estimación o de eliminaciones. Las estimaciones deben ser precisas en el sentido de que no presenten valores que sistemáticamente exceden, o no alcanzan los valores reales, en la medida en que pueda juzgarse, y que las incertidumbres se reduzcan en la medida de lo posible.

A1.4. Flujograma del sistema MRV y claves del éxito

A continuación, se muestra el flujograma de un sistema MRV. Tal y como se puede ver, incluye las fases ya definidas (Monitoreo, Reporte y Verificación), pero se tiene también en cuenta, por considerarse imprescindible, una fase inicial donde se dan los primeros pasos para la implementación del sistema y una fase final que contempla la mejora continua del proceso.

⁹¹ “Estándar de Política y Acción”. GHG Protocol (WRI/WBCSD).

<http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Spanish%20-%20Policy%20and%20Action%20Standard.pdf>

Figura 41. Flujograma del sistema MRV



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se especifican los factores de éxito del MRV⁹²:

- La buena comunicación e información son de vital importancia. La recopilación y el registro de la información para los reportes depende de la buena comunicación y coordinación entre todas las entidades involucradas en el proceso de monitoreo.
- Definir claramente roles y responsabilidades y ofrecer orientación sobre transparencia a cada organización que participa en el desarrollo e instrumentación del plan MRV. Con ello se asegura la confiabilidad y congruencia de la información medida, al igual que su reporte y verificación oportunos.
- Calcular los datos con base en métodos probados o confiables, usando los mejores datos disponibles.
- El monitoreo de la calidad y confiabilidad de los datos y un acceso abierto y transparente a la información incrementa la eficiencia del proceso de MRV.
- Examinar la mejor práctica existente para asegurar que el plan de MRV está diseñado acorde con los requisitos nacionales.
- Realizar revisiones y mejoras continuas del plan de MRV. Organizaciones con experiencias distintas deberían participar para maximizar las competencias técnicas.

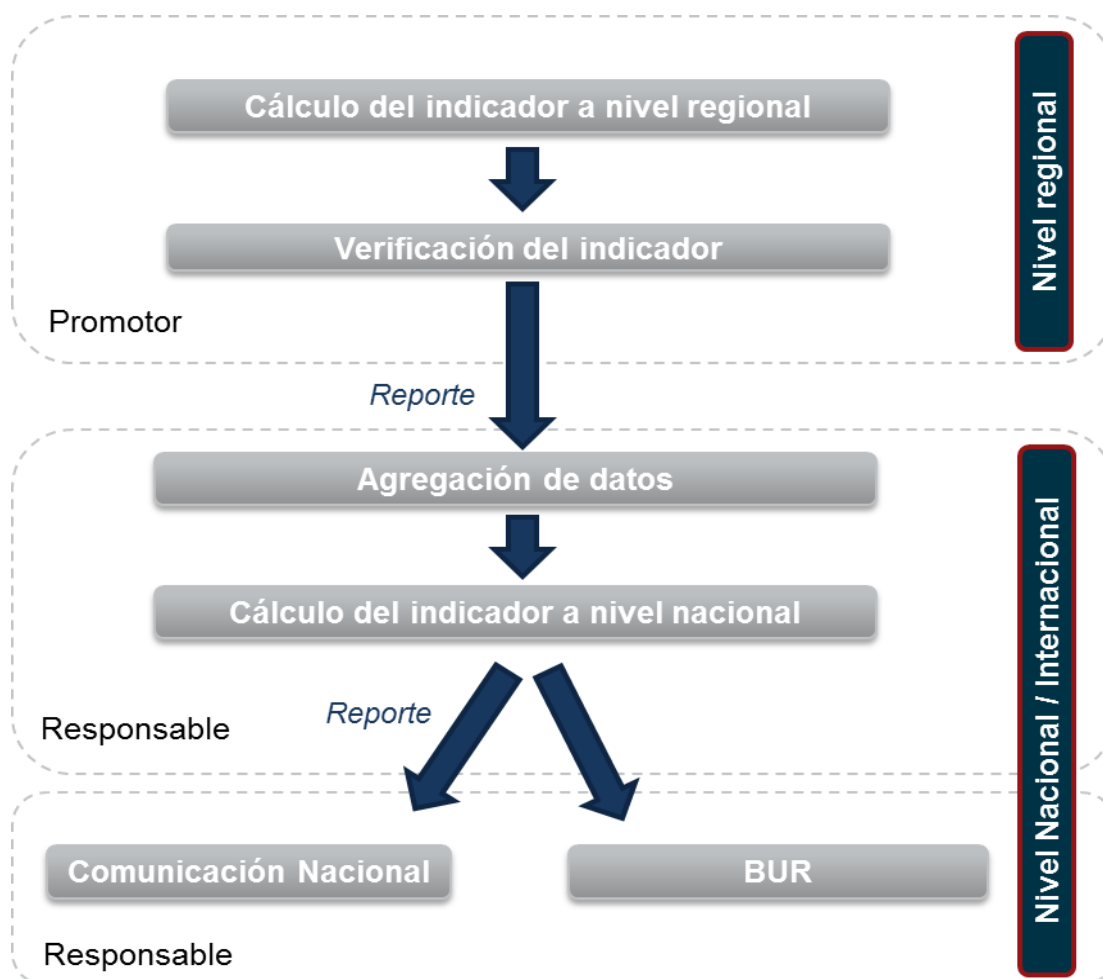
⁹² https://www.transparency-partnership.net/system/files/document/mrv_tool_4_2_esp.pdf

El sistema planteado ha incorporado las acciones y protocolos necesarios para asegurar la inclusión de estos factores y lograr una mayor efectividad del MRV planteado.

A1.5. Esquema del sistema MRV

Se propone un esquema de MRV a dos niveles, uno local y otro nacional. En este sentido, para ambos niveles se miden las mismas variables e indicadores, siguiendo el protocolo establecido.

Figura 42. Esquema general MRV



Fuente: Elaboración propia

Se ha definido un nivel adicional, el nivel internacional, que está relacionado con el reporte de emisiones de GEI, mediante el Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) y las Comunicaciones Nacionales a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

A1.6. Monitoreo

A1.6.1 Qué se va a medir

El sistema MRV tiene como objeto realizar un seguimiento eficaz y transparente de la ejecución y logros obtenidos por la implementación de las RTIs. El sistema MRV diseñado en este documento, por tanto, incluye la metodología para el seguimiento de las medidas seleccionadas e incluidas en dichas RTIs y que se incluyen en la Tabla 4 de este documento.

Para planificar el monitoreo se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir una referencia inicial: cálculo de la diferencia en términos energéticos entre el escenario BAU y el/los de proyección, para obtener una estimación del impacto.
- Evaluar los co-beneficios, así como los costos económicos adicionales. Para tal fin se crean indicadores para rastrear el progreso.
- Desarrollar sistemas de gestión de datos para identificar y registrar datos medibles de distintas fuentes. Los sistemas de gestión de datos deben considerar distintos grupos de indicadores, ser transparentes, utilizar metodologías armonizadas y entregar datos de manera oportuna.
- Designar una organización central a cargo de recopilar y evaluar la información recibida a través de los sistemas de gestión de datos.
- Definir las responsabilidades con las organizaciones sectoriales, municipios, compañías y otros grupos de interés.
- Realizar mediciones de manera regular, y por acuerdo en el caso de convenios bilaterales.

A1.6.2 Cómo, quién y cuándo se va a medir

Para definir el sistema de monitoreo, se ha seguido el documento “Estándar de Política y Acción”⁹³ del GHG Protocol (WRI/WBCSD), capítulos 10 y 11 (medida), que plantea un monitoreo en 5 pasos, tal y como se presenta en las siguientes ilustraciones.

⁹³ “Estándar de Política y Acción”. GHG Protocol (WRI/WBCSD).

<http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Spanish%20-%20Policy%20and%20Action%20Standard.pdf>

Figura 43. Pasos para la definición del MRV



Tabla 39. Lista de verificación de los requisitos de contabilidad

Sección	Requisitos de contabilidad
Definir los indicadores clave de rendimiento (Sección 10.1)	Definir los indicadores clave de rendimiento que se utilizarán para darle seguimiento al rendimiento de la política o acción a lo largo del tiempo
Definir los parámetros para la evaluación ex post (Sección 10.2)	Para los usuarios que están planificando realizar una evaluación ex post: Definir los parámetros necesarios para estimar las emisiones en el escenario de la política ex post y las emisiones en el escenario de referencia ex post
Crear un plan de monitoreo (Sección 10.4)	Crear un plan para el monitoreo de los indicadores clave de rendimiento (y los parámetros para la evaluación ex post, si corresponde)
Monitorear los parámetros a lo largo del tiempo (Sección 10.5)	Monitorear cada uno de los parámetros a través del tiempo, de conformidad con el plan de monitoreo

Fuente: GHG Protocol, 2016.

En el presente sistema MRV se plantean los lineamientos para los tres primeros pasos, quedando la sección de “monitoreo de los parámetros a lo largo del tiempo” para el período de implementación de las RTIs.

Paso 1: Definición de indicadores

Aunque se considera que el MRV es un requisito fundamental para el seguimiento y evaluación de las medidas propuestas, no hay una orientación formal limitada en cuanto a su organización y producción. Un punto de partida para comprender lo que se debe medir son los requisitos internacionales para los previamente mencionados BURs. Estos requisitos describen dos parámetros principales de monitoreo:

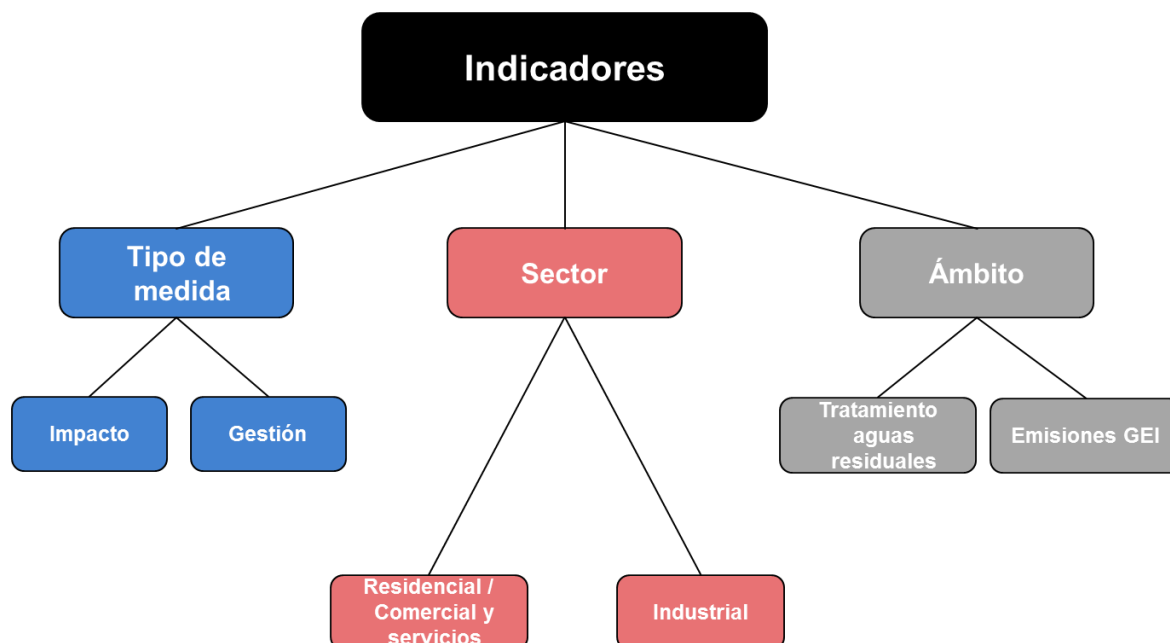
- El progreso de la implementación
- Los resultados logrados, incluyendo los impactos estimados de GEI.

A la hora de diseñar el sistema MRV, este debe tener sus propios indicadores para el monitoreo de las acciones. Los indicadores hacen posible medir con mayor precisión el logro de los objetivos. Estos deben reflejar el “cómo, cuándo y quién”, es decir, cómo se medirán los beneficios, cómo de

precisas deben ser las mediciones, cómo se compilarán y almacenarán los resultados y a través de qué canales van a ser reportados, con qué frecuencia será el monitoreo de las medidas específicas (Monitoreo anual, Reportes Bienales, etc.), y quiénes son las personas/instituciones responsables del MRV de las RTIs (las cuales deben ser determinadas durante la fase de diseño).

En cuanto a su tipología, existen diferentes tipos de indicadores según tipo de medida, ámbito de medida, y sector de acuerdo con la siguiente ilustración.

Figura 44. Tipos de indicadores



Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado una propuesta de indicadores específica para las medidas priorizadas. La selección de indicadores ha seguido los siguientes criterios:

- Menor número posible de indicadores (lo que implica menor coste de monitoreo y mayor viabilidad de las RTIs);
- Indicadores integrados en los procesos de levantamiento de información existente;
- Bajo coste de cálculo.

Siguiendo estos criterios, se han establecido los siguientes indicadores.

Tabla 40. Indicadores para las medidas priorizadas

Medida	Identificador	Indicador
Medida M1	M1.1	Grado de penetración de la medida M1
Medida M2	M2.1	Grado de penetración sistemas aerobios
Medida M2	M2.2	Grado de penetración sistemas lodos activados

Medida	Identificador	Indicador
Medida M3	M3.1	Porcentaje de lodos tratados para generación de biogás
Medida M3	M3.2	Porcentaje de lodos depositados en sitios de disposición final
Medida M4	M4.1	Grado de penetración de la medida M4

Fuente: Elaboración propia

Para una mayor agilidad y efectividad de la fase de monitoreo, se han definido 1 o 2 indicadores para cada una de las medidas.

En el Anexo II se incluyen las fichas de los indicadores, con la información necesaria para analizar cada uno de ellos.

Figura 45. Modelo ficha indicador

NOMBRE INDICADOR		Tipo
Definición		
Objetivo		
Fórmula		
Unidad de Medición		Periodicidad
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad
Comentarios		

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Definición de los parámetros para la evaluación ex post

Una vez definidos los indicadores, es necesario determinar qué parámetro es necesario medir para su cálculo, así como la combinación necesaria de dichos parámetros. El Anexo II recoge los parámetros y datos necesarios para el cálculo de cada uno de los indicadores, así como el responsable de la recogida de cada uno de los parámetros.

Se propone el desarrollo y uso de una plantilla estándar de recolección de información. Una plantilla efectiva deberá incluir, además del dato o parámetro necesario, información que contextualice los datos recopilados (alcance temporal, unidades, comentarios asociados al dato) e información de

trazabilidad (fecha de levantamiento de la información, persona que levanta la información, fuente de los datos, etc.).

Paso 3: Definición del período de monitoreo

El “período de implementación” es el lapso de tiempo durante el cual las medidas propuestas se mantienen en vigor. Por otra parte, el “período de monitoreo” es el momento en el que se monitorean las medidas definidas. Como mínimo, el período de monitoreo debería incluir el período de implementación del mismo, pero siempre que sea posible también debería incluir un monitoreo previo (línea base) de la situación previa a la implementación, y un monitoreo posterior de las medidas implementadas, una vez haya finalizado la implementación.

Paso 4: Creación de un plan de monitoreo

El Plan de Monitoreo debe recoger la siguiente información para cada indicador:

- Instrumentos para la recopilación de los datos
- Fuentes de datos
- Frecuencia de monitoreo
- Unidades de medida
- Responsable de proporcionar cada dato
- Responsable de la medida
- Flujos de información

El Plan de Monitoreo definido se encuentra en el Anexo II, que incluye el cuadro de mando de los indicadores establecidos, así como una ficha de cada uno de ellos con los detalles para su seguimiento.

A1.7. Reporte

El reporte de información es una parte importante del MRV. En esta etapa debe llevarse a cabo la definición clara de responsabilidades para los instrumentadores y ejecutores de las RTIs. El plan de instrumentación para MRV debe responder: qué se reporta, cómo, cuándo y quién debe reportar.

A1.7.1 Qué se debe reportar

El promotor de cada RTI deberá reportar los resultados de los indicadores. Los agentes implicados para el aporte de los datos y parámetros necesarios para el cálculo de cada indicador, en cada uno de los sectores implicados, están definidos en el Anexo II del presente informe.

Los datos y parámetros recogidos mediante este MRV sirven, asimismo, para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI derivada de la implementación de las medidas. De esta manera,

estos indicadores podrán ser reportados en el marco de los reportes y acuerdos internacionales (BUR) y servirán para el seguimiento de las RTIs.

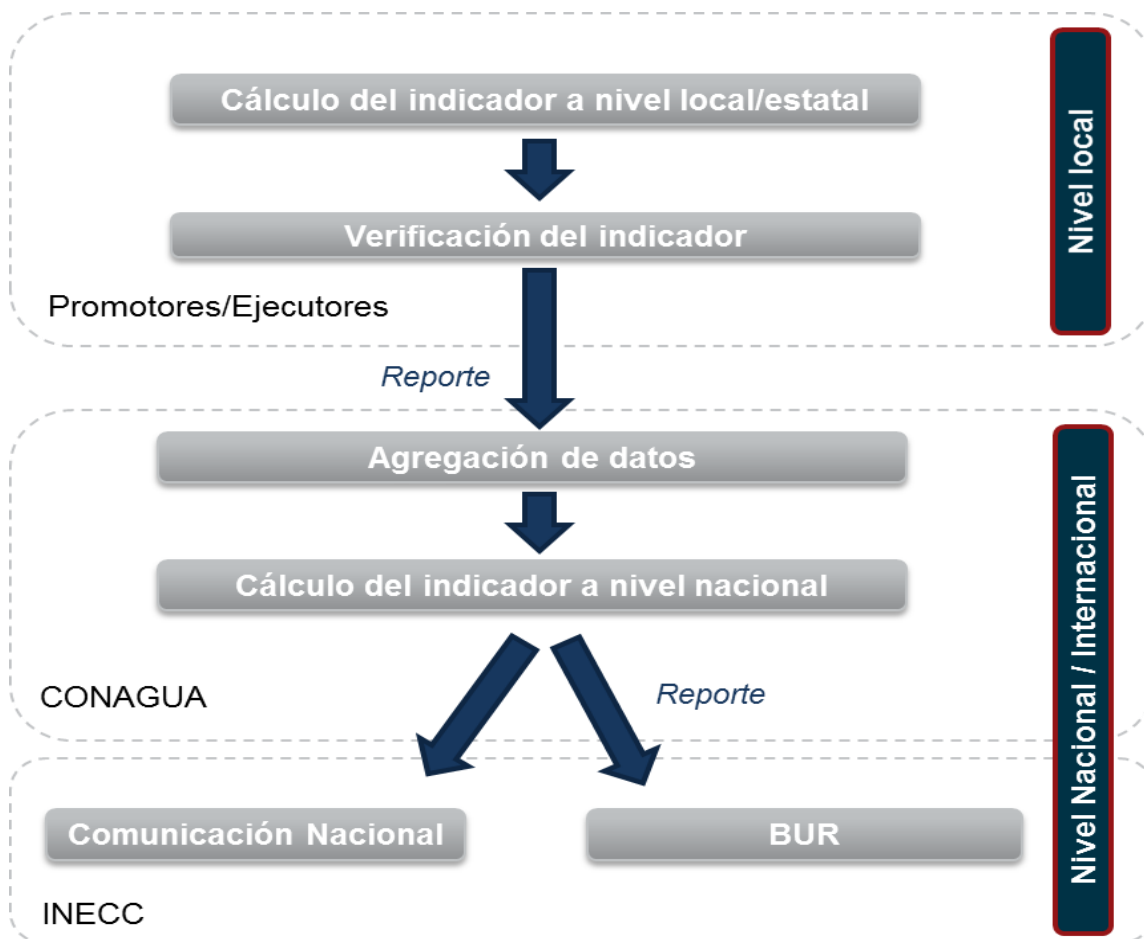
A1.7.2 Quién debe reportar

Tal y como se ha mencionado anteriormente, se han definido dos niveles de monitoreo, uno local y otro nacional. Sin embargo, cabe mencionar que puede existir un tercer nivel de reporte si se incluye el reporte de emisiones de GEI mediante el BUR y las Comunicaciones Nacionales a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. De esta forma, existirían tres niveles de reporte.

De acuerdo con el grupo de trabajo establecido para el desarrollo de esta consultoría, se considera que CONAGUA es el órgano a nivel nacional que llevaría a cabo el seguimiento de la implementación de las medidas. Por otra parte, será el INECC quién vele por el seguimiento e implementación de las RTIs, para su posterior reporte como parte de las Comunicaciones Nacionales.

De acuerdo con esta información, se identifica por tanto a la CONAGUA e INECC como principales actores involucrados en este sistema MRV, y se define el siguiente esquema que recoge las definiciones y lineamientos descritos previamente.

Figura 46. Esquema de responsabilidad del reporte MRV



Fuente: Elaboración propia

En el reporte a nivel local, el promotor/ejecutor de la medida debe reportar a la institucionalidad/ente encargado del seguimiento a nivel nacional, es decir, a la CONAGUA.

En el reporte a nivel nacional para el seguimiento de las RTIs, la CONAGUA debe reportar al INECC, que será a su vez quién reportará a la CMNUCC en el marco del BUR, las Comunicaciones Nacionales y cumplimiento de NDCs.

Se recomienda capacitar a los técnicos del promotor en el cálculo y reporte de los indicadores.

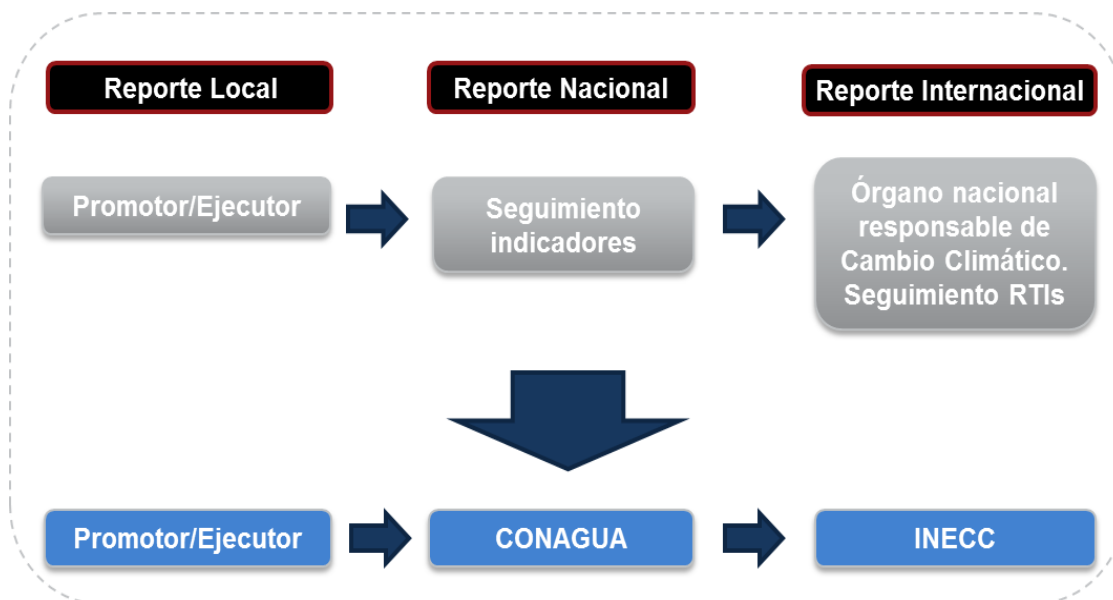
Tabla 41. Actores del MRV y roles asignados

Actor	Rol	Responsabilidad
INECC	Coordinación internacional	Seguimiento del cumplimiento de los objetivos fijados en la ruta tecnológica. Reporte de indicadores a nivel internacional

Actor	Rol	Responsabilidad
CONAGUA	Coordinación nacional	Elaboración de indicadores a nivel nacional. Identificación de posibles causas de desviaciones. Colaboración en aplicación de medidas correctivas.
Comisión estatal del agua	Verificación	Verificar y aprobar que los datos reportados por los operadores son consistentes y reflejan la realidad.
Secretarías de medio ambiente	Verificación	Verificar y aprobar que los datos reportados por los operadores son consistentes y reflejan la realidad.
Organismos operadores	Reporte datos de base a nivel local	Reportar los datos requeridos por los indicadores necesarios para alimentar el MRV

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Esquema de actores por niveles de reporte MRV



Fuente: Elaboración propia

A1.7.3 Cuando se debe reportar

La periodicidad de reporte varía en función del indicador y del nivel de reporte.

El reporte de los datos para el cálculo de los indicadores al promotor deberá realizarse de acuerdo con la periodicidad establecida para cada uno de los indicadores establecidos en el Anexo II.

Se ha establecido un rango de periodicidad anual para poder realizar un análisis del grado de avance y, en el caso de existir desviaciones importantes, poder analizar los motivos y aplicar medidas correctoras más efectivas.

Finalmente, el reporte de las RTIs a nivel internacional deberá realizarse de acuerdo con la periodicidad definida para cada tipo de comunicación (BUR y/o Comunicación Nacional).

A1.7.4 Cómo se debe reportar

No existen directrices internacionales para presentar reportes individuales. Sin embargo, de acuerdo con las metodologías de referencia mencionadas y, teniendo en cuenta el organigrama descrito, el reporte se realizará en base a dos elementos clave en el reporte de informes:

- Informar regularmente
- Identificar claramente el público receptor y diseñar los requisitos de presentación de informes en consecuencia.

El primero es particularmente importante para permitir una evaluación y retroalimentación adecuadas, de modo que se puedan hacer los ajustes necesarios para mejorar la eficacia de la implementación de las RTIs.

Para el reporte se recomienda desarrollar un sistema de plantillas de reporte estandarizadas.

A1.8. Verificación

La verificación se refiere al nivel de confianza en que la información reportada es pertinente, exhaustiva, exacta, coherente, transparente y que no incluye errores significativos.

A1.8.1 Qué se debe verificar

La verificación se realizará sobre los indicadores establecidos en el sistema MRV. Con objeto de evitar que los costos de verificación se conviertan en una barrera para la implementación, se puede plantear la verificación de solo algunos indicadores, o realizarlo cada dos o tres años en vez de forma anual.

A1.8.2 Quién debe verificar

Se recomienda que la verificación sea realizada por una tercera parte independiente, y que se establezca un sistema de acreditación de verificadores autorizados, o apoyarse en registros ya existentes. La acreditación del verificador dependerá del indicador a verificar. Así, por ejemplo, un verificador acreditado para un indicador concreto puede no estar acreditado para verificar otro indicador diferente.

A1.8.3 Cuando se debe verificar

Estos indicadores de cabecera convendrían fuesen verificados a nivel local para, una vez verificados, ser agregados a nivel nacional por parte de la institucionalidad de las RTIs (CONAGUA). Es decir, la verificación sería anterior al reporte del nivel local al nacional.

A1.8.4 Cómo se debe verificar

La verificación es el proceso para evaluar el nivel de aseguramiento. Para brindar este aseguramiento, aunque no existen unas guías de verificación, los verificadores siguen un proceso de verificación documentado, riguroso y sistemático para evaluar la información reportada con base en criterios acordados.

El proceso de verificación evalúa si se han cumplido los requisitos del estándar, si se han observado los principios de contabilidad y reporte y si se han aplicado métodos e hipótesis razonables. La verificación debería ser un proceso cooperativo e iterativo que proporcione retroalimentación y les permita a los usuarios mejorar las prácticas de contabilidad. Además, este proceso de verificación debe ser llevado a cabo por una entidad totalmente independiente, es decir, que no haya participado de ninguna forma en el proceso/actividad que se pretende verificar.

El proceso sistemático de verificación tiene varios pasos:

- Planificación y determinación del alcance
- Identificación de los datos, los métodos y las hipótesis
- Verificación
- Evaluación de la importancia relativa
- Elaboración y reporte de un dictamen de aseguramiento

A1.9. Seguimiento y evaluación de los indicadores

El sistema MRV planteado sienta las bases y el procedimiento para asegurar la calidad, veracidad, exactitud, consistencia, transparencia y representatividad de los resultados de las medidas.

Una vez implementadas, así como el sistema MRV, llega el momento de realizar un seguimiento y evaluación del grado de implementación de las medidas y los resultados obtenidos para evaluar la efectividad de las mismas.

A continuación, se muestran los resultados/objetivos potenciales de las medidas priorizadas:

Tabla 42. Objetivos cuantitativos de las medidas priorizadas

Medida	Objetivo cuantitativo	Valor Objetivo Anual
Medida M1	Porcentaje de agua residual municipal tratada respecto al agua residual municipal captada	Ver datos de fracción de ARM tratadas (fila 604) de la pestaña “Medida de Mitigación M1” de la base de datos. Ver Anexo III (Tabla 45)
Medida M2	Porcentaje de agua residual municipal tratada en sistemas aerobios Porcentaje de agua residual municipal tratada en lodos activados	Ver datos de grados de utilización (filas 275-301) de la pestaña “Medida de Mitigación M3” de la base de datos Ver Anexo III (Tabla 46 y Tabla 47).
Medida M3	Porcentaje de lodos tratados mediante digestión anaerobia Porcentaje de lodos depositados en rellenos sanitarios	Valor por fijar una vez se lleve a cabo el levantamiento de información necesaria y se puedan conocer datos sobre la situación real y actual de los lodos de PTAR en México.
Medida M4	Porcentaje de agua residual industrial tratada respecto al agua residual industrial captada	Ver datos de fracción de ARI tratadas (fila 7) de la pestaña “Cálculos M4” de la base de datos. Ver Anexo III (Tabla 48)

Fuente: Elaboración propia

Atendiendo a la información obtenida tras la implementación del sistema MRV, es necesario llevar a cabo un seguimiento y evaluación de los indicadores establecidos para cada una de las medidas. Para ello, debe fijarse una desviación límite al valor objetivo fijado de forma que, si el valor anual obtenido se encuentra por debajo de esa desviación límite, se consideraría el no cumplimiento de los objetivos fijados. Esta desviación límite debe ser específica para cada indicador, y debe ser fijado por los entes encargados del seguimiento (CONAGUA e INECC) en función del grado de margen que se desee/pueda tener con el cumplimiento de cada una de las medidas.

Se propone un seguimiento anual, situación que se considera la más adecuada para poder analizar con detalle el seguimiento de la implementación de las medidas, permitiendo detectar desviaciones y sus posibles causas a la mayor brevedad posible, posibilitando así mismo el poder establecer las acciones correctoras pertinentes para corregir dichas desviaciones.

Por otro lado, aunque se ha propuesto un seguimiento anual de las medidas, dependiendo de las circunstancias nacionales del país, el seguimiento puede ser planteado en periodos más amplios de años, pudiéndose medir cada indicador de forma acumulada, es decir, es posible realizar un seguimiento inicial, uno intermedio y uno final (por ejemplo) y utilizar los valores acumulados durante los años en los que han sido implementadas las medidas.

Tabla 43. Seguimiento y evaluación de los indicadores respecto a escenarios de mitigación propuestos⁹⁴

Medida	Identificador	Valor referencia	Desviación límite inferior anual respecto del valor de referencia anual
Medida M1	M1.1	Tabla 45	0.50%
Medida M2	M2.1	Tabla 46	0.5% (periodo 2019-2030) 0.25% (periodo 2031-2050)
Medida M2	M2.2	Tabla 47	0.25%
Medida M3	M4.1	Tabla 48	0.50%

Fuente: Elaboración propia

Los valores propuestos de desviación en la tabla anterior son orientativos, y se recomienda sean ajustados por los responsables de la implementación y desarrollo del sistema MRV con objeto de adecuarlos a las circunstancias nacionales reales. Estos valores propuestos indican que, por ejemplo, para el indicador M1, que si el valor obtenido del indicador queda 0.5% por debajo del porcentaje propuesto en la Tabla 45, no se estaría cumpliendo con el objetivo fijado ya que la desviación es mayor que el límite propuesto, por lo que es necesario analizar los motivos y, en base a ellos, establecer un plan de acción correctivo que permita alcanzar los objetivos fijados en el futuro.

A1.10 Desviación de resultados

Tal y como se indica anteriormente, en el caso de que los valores obtenidos en la evaluación de las medidas se encuentren por debajo de la desviación límite establecida para cada indicador, se considera que la medida no está siendo eficazmente implementada y, por tanto, deberá ser analizada y corregida de acuerdo con las especificaciones del siguiente punto (Plan de acción correctivo).

Existen múltiples factores, de diversa naturaleza, que pueden afectar a la implementación de las medidas y, por tanto, pueden originar una desviación de los resultados respecto de los objetivos definidos.

A continuación, se identifican algunos posibles factores de desviación que pueden dar lugar al no cumplimiento de los objetivos fijados:

⁹⁴ Se están considerando, para el seguimiento, los escenarios conservadores de las medidas M1 y M2 ya que se consideran los más realistas dadas las circunstancias nacionales actuales

- Falta de acuerdos institucionales: se trata de un factor que podría incidir en la correcta implementación de las medidas y repercutir, por tanto, en una desviación de los resultados objetivo. Podría, incluso suponer la falta de reporte de los parámetros requeridos para el propio sistema MRV (la no entrega periódica o entrega incompleta de información).
- Factores económicos: la falta de recursos económicos para la implementación de las medidas puede dificultar, o incluso evitar, que ésta se pueda llevar a cabo según lo previsto.
- Factores naturales: la ubicación de una población, su entorno natural, puede dificultar el poder implementar alguna de las medidas.
- Factores humanos: la falta de conocimiento sobre los beneficios ambientales y de salud que la implementación de una determinada medida puede ofrecer a la población puede dificultar que dicha población acepte/colabore en su implementación.
- Otros

A1.11 Plan de Acción correctivo

Dentro del proceso de implementación del sistema MRV es importante la gestión de la calidad de la información monitoreada. Si bien en el apartado 9 se incluye el proceso de verificación de los datos y parámetros monitoreados y en el apartado 10 se identifican factores de desviación, en este punto se da relevancia a los problemas o barreras encontradas (posibles causas por las que los datos obtenidos pueden no ser representativos o no cumplir los requisitos de calidad establecidos por el MRV) y se establecen posibles medidas correctoras.

En este proceso, las acciones correctivas son todas aquellas decisiones, medidas, actividades y soluciones orientadas a la eliminación de causas potenciales y reales de un problema. La acción correctiva no debe confundirse con la acción preventiva, que es aquella que se aplica antes de que tengan lugar las desviaciones. Tal y como su nombre indica, la idea es corregir algo que ha fallado dentro del proceso y que necesita una intervención urgente, además de soluciones eficaces, entre otros. El objetivo final es que las desviaciones no vuelvan a repetirse.

Sin embargo, no siempre es sencillo y pueden llegar a identificarse barreras que necesitan acciones preventivas más acordes con la situación.

A continuación, se enumeran los pasos necesarios en el proceso de implementación de un plan de acción correctivo.

Figura 48. Proceso de implementación del Plan de Acción correctivo



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el proceso mostrado, cada uno de los pasos constarían de las siguientes actividades:

- **Identificación de la barrera y/o problema:** consiste en tener en cuenta las características de la situación que demanda una solución. Por ejemplo, la naturaleza de la incidencia y sus eventuales efectos, los informes previos, los indicadores de monitoreo y el trabajo desplegado. Asimismo, es necesario que se identifique la tipología de barrera (índole técnica, económica etc.).
- **Determinación de las causas:** en este segundo paso se identifica la causa de la situación, describiéndola con la mayor precisión posible para diseñar una solución eficaz que esté a su altura.
- **Establecimiento de un Plan de Acción correctivo:** inmediatamente después se establecen las acciones correctivas que permitan eliminar el problema detectado. Para ello se recomienda hacer un pequeño plan que incluya, al menos, lo siguiente:
 - Actividades necesarias para prevenir/evitar nuevamente la ocurrencia del problema o la barrera identificada
 - Identificación del/los responsables de la ejecución de las medidas correctoras
 - Cronograma de implementación
- **Implementación del Plan Correctivo:** una vez identificada la solución debe proceder a implementarse lo antes posible.
- **Monitoreo de la eficacia:** tras registrar los resultados, el equipo evaluador verifica si los desvíos han sido corregidos y si, sobre todo, las causas de su ocurrencia se hayan eliminado. De no ser así, será necesaria la búsqueda e implementación de nuevas soluciones.

En función del tipo de factor que provoca la desviación pueden existir diferentes medidas correctivas que podrían contribuir a reconducir la situación. Algunos ejemplos serían:

- Búsqueda de fondos nacionales/internacionales que permitan ayudar a la adquisición de las tecnologías necesarias y ponerlas al servicio de la población y administraciones.
- Desarrollo de normativas/leyes nacionales que impulsen la consecución de las medidas
- Revisión de acuerdos institucionales para el correcto mantenimiento del sistema MRV e implementación del Plan Director.
- Planes de formación a la población
- Planes/campañas de divulgación de las medidas priorizadas

De acuerdo con el proceso establecido y, a medida que la implementación del Plan Director sea monitorizada a través del sistema MRV, se podrán identificar otros factores de desviación, barreras o problemas que necesiten de soluciones o medidas correctivas específicas.

Anexo II: Cuadro de mando, fichas de indicadores y esquema de monitoreo

Tabla 44. Cuadro de mando de indicadores

Nombre del indicador	Que se mide	Ámbito	Tipo	Instrumento	Periodicidad
Grado de penetración de la medida M1	Porcentaje de agua residual municipal tratada respecto al agua residual municipal captada	Aguas residuales	Impacto	Encuesta	Anual
Grado de penetración sistemas aerobios	Porcentaje de agua residual tratada en sistemas aerobios respecto al agua residual total tratada	Aguas residuales	Impacto	Encuesta	Anual
Grado de penetración sistemas lodos activados	Porcentaje de agua residual tratada mediante lodos activados respecto al agua residual total tratada	Aguas residuales	Impacto	Encuesta	Anual
Porcentaje de lodos tratados para generación de biogás	Porcentaje de lodos de PTAR que se tratan mediante digestión anaerobia para la producción de biogás respecto a la cantidad total de lodos de PTAR generados	Aguas residuales	Impacto	Encuesta	Anual
Porcentaje de lodos depositados en sitios de disposición final	Porcentaje de lodos de PTAR que se depositan en vertederos/rellenos sanitarios respecto a la cantidad total de lodos de PTAR generados	Residuos sólidos	Impacto	Encuesta	Anual
Grado de penetración de la medida M4	Porcentaje de agua residual industrial tratada respecto al agua residual industrial captada	Aguas residuales	Impacto	Encuesta	Anual

Figura 49. Ficha indicador M1.1

M1.1 - Grado de penetración de la medida 1			Impacto
Definición	La finalidad de esta medida es incrementar la cantidad y calidad de las ARM que reciben tratamiento en el país (tanto en zonas urbanas como rurales)		
Objetivo	Estimar el porcentaje de agua residencial municipal tratada respecto al agua residual municipal captada		
Fórmula	$\frac{(\text{Caudal agua residual municipal tratada}) \times 100}{(\text{Caudal agua residual municipal captada})}$		
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia
	Caudal ARM tratada	m ³	CONAGUA
	Caudal ARM captada	m ³	CONAGUA
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.		

Figura 50. Esquema monitoreo indicador M1.1

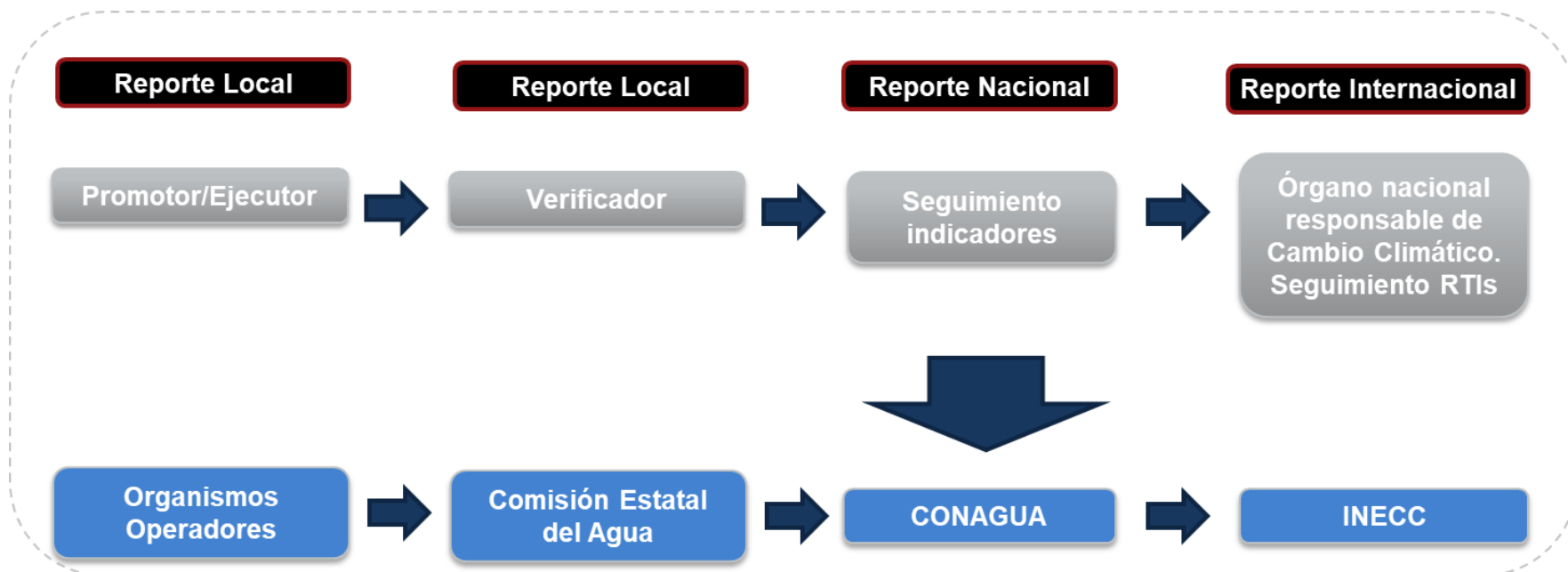


Figura 51. Ficha indicador M2.1

M2.1 - Grado de penetración sistemas aerobios			Impacto
Definición	Consiste en promover la sustitución de sistemas de tratamiento anaerobio (fosas sépticas y similares) de aguas residuales municipales por sistemas de tratamiento aerobios		
Objetivo	El objetivo es la sustitución paulatina de los sistemas de tratamiento anaerobio por otros aerobios, principalmente lodos activados en zonas urbanas y humedales en zonas rurales, para reducir emisiones por el tratamiento de las ARM		
Fórmula	$\frac{(\text{Caudal agua residual municipal tratada en sistemas aerobios}) \times 100}{(\text{Caudal agua residual municipal total tratada})}$		
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia
	Caudal agua residual tratada en sistemas aerobios	m ³	CONAGUA
	Caudal agua residual total tratada	m ³	CONAGUA
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.		

Figura 52. Esquema monitoreo indicador M2.1

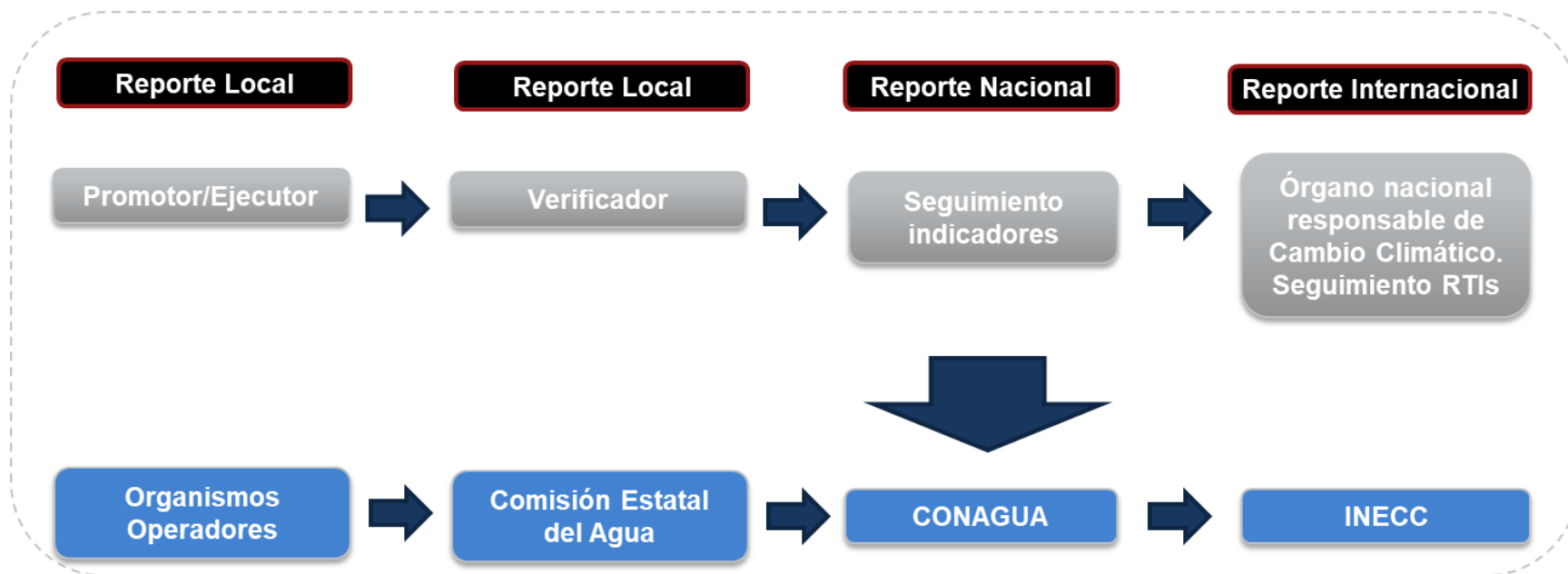


Figura 53. Ficha indicador M2.2

M2.2 - Grado de penetración sistemas lodos activados			Impacto
Definición	Consiste en promover la sustitución de sistemas de tratamiento anaerobio (fosas sépticas y similares) de aguas residuales municipales por sistemas de tratamiento aerobios		
Objetivo	El objetivo es la sustitución paulatina de los sistemas de tratamiento anaerobio por otros aerobios, principalmente lodos activados en zonas urbanas y humedales en zonas rurales, para reducir emisiones por el tratamiento de las ARM		
Fórmula	$\frac{(\text{Caudal agua residual municipal tratada en sistemas lodos activos}) \times 100}{(\text{Caudal agua residual municipal total tratada})}$		
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia
	Caudal agua residual tratada en sistemas de lodos activos	m ³	CONAGUA
	Caudal agua residual total tratada	m ³	CONAGUA
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.		

Figura 54. Esquema monitoreo indicador M2.2

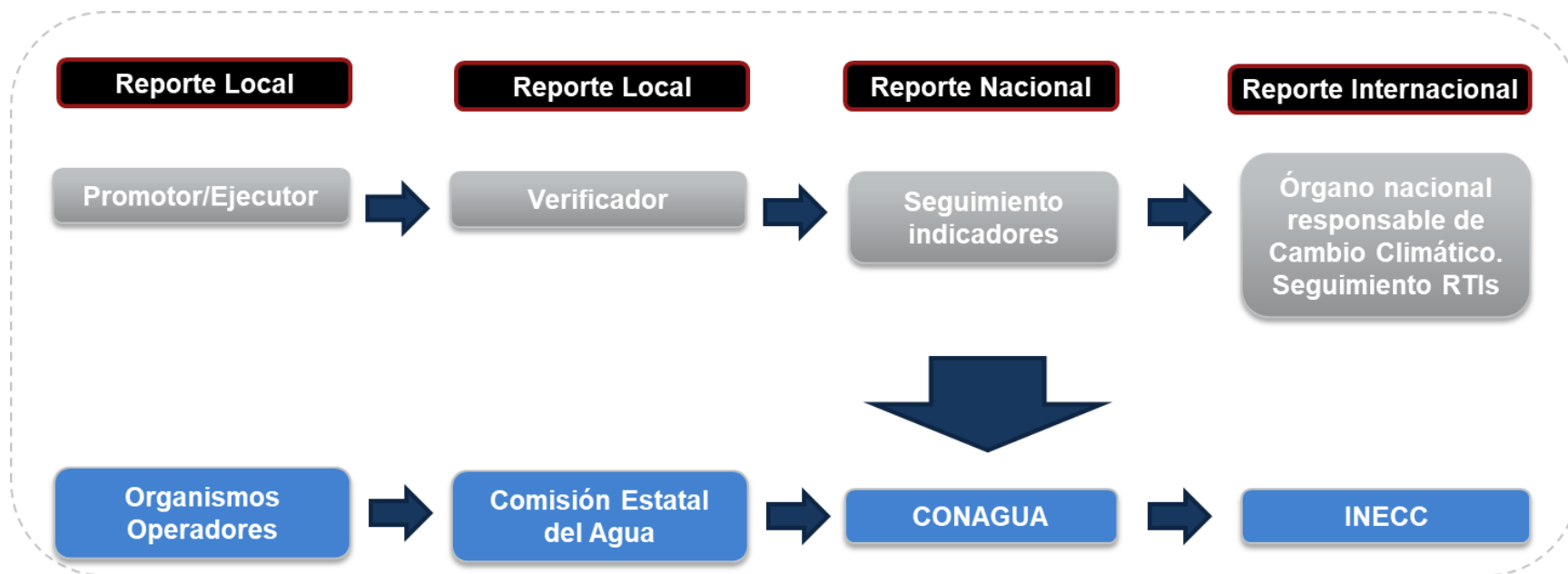


Figura 55. Ficha indicador M3.1

M3.1 - Porcentaje de lodos tratados para generación de biogás				Impacto
Definición	Esta medida de mitigación contempla la captación de biogás generado por procesos anaerobios a los que se someterían los lodos de las ARM tratadas en PTAR, para su posterior aprovechamiento para la generación de energía. Así mismo, propone una alternativa de tratamiento de estos lodos al depósito en rellenos sanitarios			
Objetivo	El objetivo es reducir las emisiones procedentes de los lodos de PTAR a través de una gestión mas eficiente y sostenible.			
Fórmula	$\frac{(Cantidad\ de\ lodos\ tratados\ mediante\ digestión\ anerobia) \times 100}{(Cantidad\ total\ de\ lodos\ generados)}$			
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual	
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia	
	Cantidad de lodos tratados mediante digestión anerobia	toneladas	CONAGUA	
	Cantidad total de lodos generados	toneladas	CONAGUA	
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.			

Figura 56. Esquema monitoreo indicador M3.1

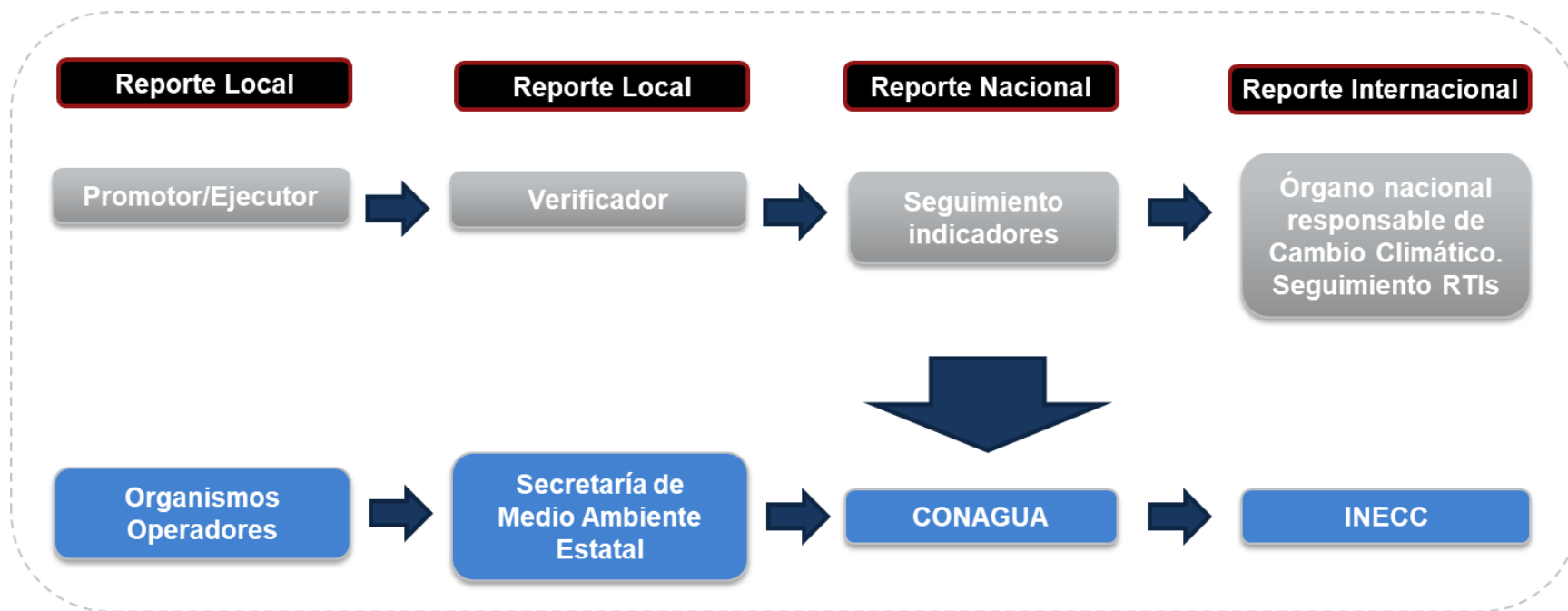


Figura 57. Ficha indicador M3.2

M3.2 - Porcentaje de lodos depositados en vertedero			Impacto
Definición	Esta medida de mitigación contempla la captación de biogás generado por procesos anaerobios a los que se someterían los lodos de las ARM tratadas en PTAR, para su posterior aprovechamiento para la generación de energía. Así mismo, propone una alternativa de tratamiento de estos lodos al depósito en rellenos sanitarios		
Objetivo	El objetivo es reducir las emisiones procedentes de los lodos de PTAR a través de una gestión mas eficiente y sostenible.		
Fórmula	$\frac{(Cantidad\ de\ lodos\ depositados\ en\ rellenos\ sanitarios) \times 100}{(Cantidad\ total\ de\ lodos\ generados)}$		
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia
	Cantidad de lodos depositados en rellenos sanitarios	toneladas	PROFEPA
	Cantidad total de lodos generados	toneladas	CONAGUA
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.		

Figura 58. Esquema monitoreo indicador M3.2

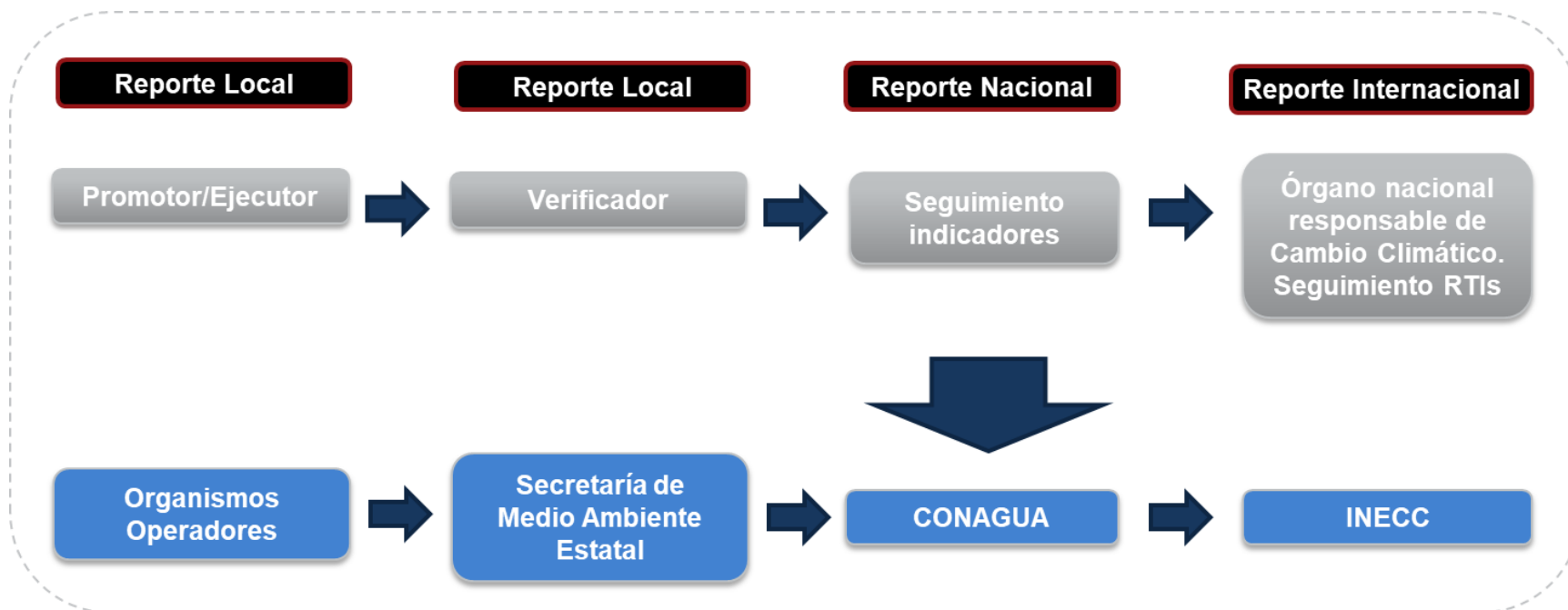
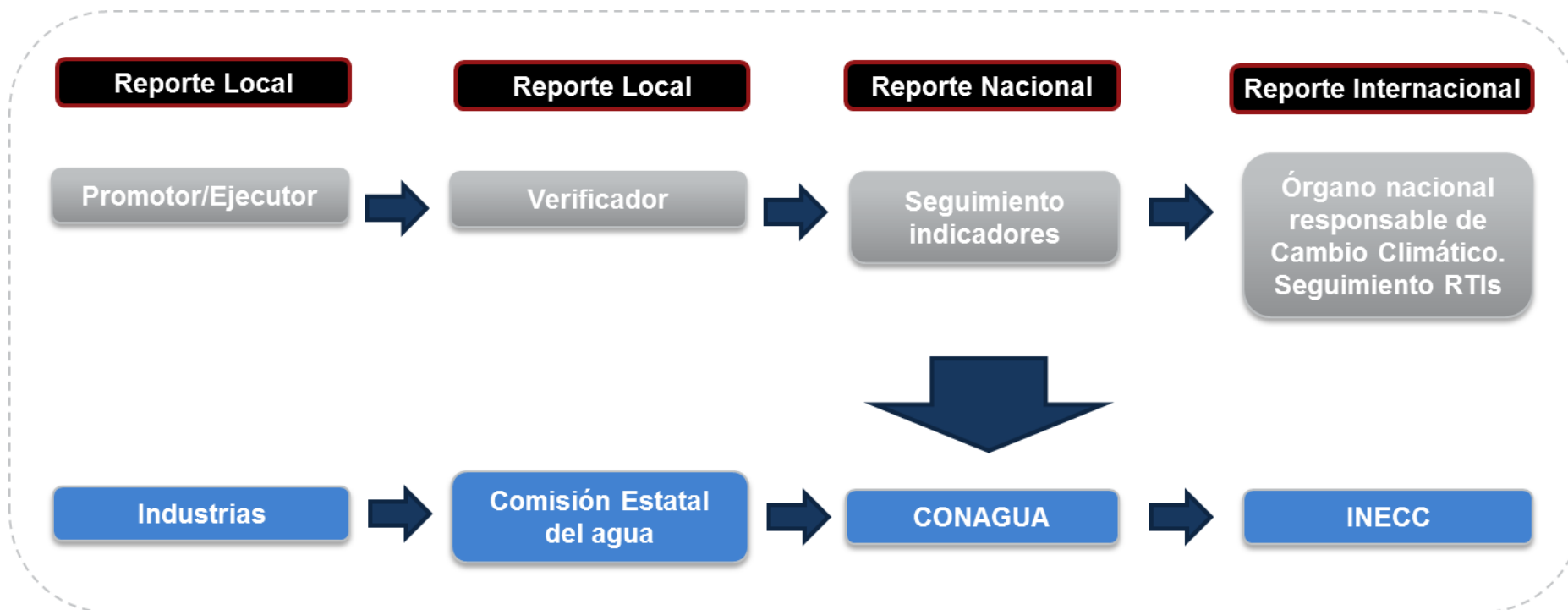


Figura 59. Ficha indicador M4.1

M4.1 - Grado de penetración de la medida 4			Impacto
Definición	La finalidad de esta medida es reducir el porcentaje de ARI que no reciben tratamiento en el país.		
Objetivo	Estimar el porcentaje de agua residencial industrial no tratada respecto al agua residual municipal captada		
Fórmula	$\frac{(\text{Caudal agua residual industrial no tratada}) \times 100}{(\text{Caudal agua residual industrial captada})}$		
Unidad de Medición	%	Periodicidad	▪ Anual
Fuentes de información para el cálculo	Dato	Unidad	Entidad / Dependencia
	Caudal ARI no tratada	m ³	CONAGUA
	Caudal ARI captada	m ³	CONAGUA
Comentarios	Se recomienda desarrollar un formato específico de reporte (plantilla) y dar directrices para recopilar esta información. Se recomienda determinar/analizar este indicador al nivel geográfico mas bajo posible, es decir, a nivel municipal mejor que a nivel regional y estatal, con objeto de tener un seguimiento más preciso que permita construir el indicador nacional bajo un enfoque botton-up, en vez de top-down. Se recomienda establecer un sistema de auditoría aleatoria antes de la agregación a nivel nacional del indicador a efectos de verificación.		

Figura 60. Esquema monitoreo indicador M4.1



Anexo III: Valores Objetivo Anuales

A continuación, se muestran los valores objetivo anuales a alcanzar. Estos valores serán los que deban ser comparados con los obtenidos a partir de cada indicador de las medidas M1, M2 y M4. Los indicadores de la medida M3, tal y como ha sido descrito anteriormente, no tienen, hoy en día, unos valores objetivo definidos puesto que es necesario un levantamiento de información de base muy grande, para poder definir con precisión el escenario de mitigación más acorde a la realidad del país.

Tabla 45. Valores Objetivo Anuales Indicador M1.1

Año	Valor objetivo
2019	37.9%
2020	36.4%
2021	34.9%
2022	33.4%
2023	31.9%
2024	30.4%
2025	28.9%
2026	27.4%
2027	25.9%
2028	24.4%
2029	22.9%
2030	21.4%
2031	20.9%
2032	20.4%
2033	19.9%
2034	19.4%
2035	18.9%
2036	18.4%
2037	17.9%
2038	17.4%
2039	16.9%
2040	16.4%
2041	15.9%
2042	15.4%
2043	14.9%
2044	14.4%
2045	13.9%
2046	13.4%
2047	12.9%
2048	12.4%
2049	11.9%
2050	11.4%

Tabla 46. Valores Objetivo Anuales Indicador M2.1

Año	Valor objetivo
2019	52,72%
2020	54,27%
2021	55,84%
2022	57,43%
2023	59,03%
2024	60,64%
2025	62,26%
2026	63,90%
2027	65,55%
2028	67,21%
2029	68,89%
2030	70,58%
2031	71,38%
2032	72,19%
2033	73,00%
2034	73,81%
2035	74,63%
2036	75,46%
2037	76,29%
2038	77,12%
2039	77,96%
2040	78,80%
2041	79,64%
2042	80,49%
2043	81,35%
2044	82,21%
2045	83,07%
2046	83,94%
2047	84,81%
2048	85,69%
2049	86,57%
2050	87,46%

Tabla 47. Valores Objetivo Anuales Indicador M2.2

Año	Valor objetivo
2019	57,6%
2020	58,3%
2021	59,0%
2022	59,6%
2023	60,3%
2024	61,0%
2025	61,6%
2026	62,3%

Año	Valor objetivo
2027	62,9%
2028	63,6%
2029	64,3%
2030	64,9%
2031	65,2%
2032	65,5%
2033	65,8%
2034	66,0%
2035	66,3%
2036	66,6%
2037	66,8%
2038	67,1%
2039	67,4%
2040	67,7%
2041	67,9%
2042	68,2%
2043	68,5%
2044	68,7%
2045	69,0%
2046	69,3%
2047	69,6%
2048	69,8%
2049	70,1%
2050	70,4%

Tabla 48. Valores Objetivo Anuales Indicador M4.1

Año	Valor objetivo
2019	75.5%
2020	74.3%
2021	73.1%
2022	71.9%
2023	70.7%
2024	69.5%
2025	68.3%
2026	66.8%
2027	65.2%
2028	63.7%
2029	62.1%
2030	60.6%
2031	59.0%
2032	57.5%
2033	56.0%
2034	54.4%
2035	52.9%
2036	51.3%

Año	Valor objetivo
2037	49.8%
2038	48.3%
2039	46.7%
2040	45.2%
2041	42.7%
2042	40.2%
2043	37.6%
2044	35.1%
2045	32.6%
2046	31.1%
2047	29.5%
2048	28.0%
2049	26.5%
2050	25.0%

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.

