



ESTRUCTURACIÓN Y FORMULACIÓN DE LA NAMA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Informe final

Bogotá, febrero de 2021



La vivienda y el agua son de todos

Minvivienda



El futuro es de todos

DNP
Departamento
Nacional de Planeación



El ambiente es de todos

Minambiente



Contenido

1	Antecedentes	5
2	Introducción	7
3	Información de los responsables de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales.....	8
3.1	Información del proponente de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales.....	8
3.2	Información de la entidad coordinadora de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales	8
4	Propósito y Objetivos de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales	9
4.1	Objetivo general.....	9
4.2	Objetivos específicos	9
4.3	Alcance.....	9
5	Sector de los residuos sólidos municipales en Colombia	10
5.1	Contexto.....	10
5.2	Caracterización general	14
5.3	Descripción de la gestión de residuos sólidos municipales en los rellenos sanitarios.....	17
5.4	Características ambientales	18
5.5	Características socioeconómicas	21
5.6	Actores relevantes	25
6	Políticas y Regulación.....	31
6.1	Políticas y estrategias a nivel nacional	31
6.2	Marco regulatorio a nivel sectorial	34
7	Tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de Residuos Sólidos Municipales	39
7.1	Recolección y aprovechamiento de gas en vertederos (RGV)	46
7.2	Tratamiento mecánico biológico	52
7.3	Biodigestión	55
7.4	Compostaje	57
7.5	Combustible Derivado de Residuos (RDF).....	58
7.6	Aprovechamiento energético de residuos (Waste to Energy – WtE)	59
7.7	Opciones de tecnología para el aprovechamiento energético de residuos.....	62
8	Emisiones de GEI del sector residuos	64
8.1	Línea base y escenario BAU	64
8.2	Potenciales de Calentamiento	84
8.3	Escenarios de implementación y operación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales	84
9	Medidas y acciones de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales	96
9.1	Proyectos y acciones de mitigación	96
9.2	Identificación de proyectos y acciones de mitigación	101

9.3	Análisis de implementación de las Acciones de mitigación	108
10	Identificación Co-beneficios	124
10.1	Identificación de co-beneficios ambientales, sociales, institucionales y económicos	126
10.2	Descripción de los co-beneficios ambientales	128
10.3	Descripción de los co-beneficios sociales e institucionales	134
10.4	Descripción de los co-beneficios económicos.....	137
10.5	Limitantes, barreras y brechas.....	141
11	Requerimientos y Mecanismos de Financiación de la NAMA	149
11.1	Costos de la NAMA RSM	149
11.2	Análisis Costo – Beneficio de la NAMA	179
11.3	Mecanismos y financiación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales	186
12	Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)	193
12.1	Estructura de los sistemas MRV.....	193
12.2	Sistema MRV de Colombia	196
12.3	Sistema RENARE.....	198
12.4	Sistema MRV de la NAMA RSM.....	199
13	Estructura de Gobernanza de la NAMA RSM	268
13.1	Identificación y caracterización de actores clave NAMA RSM.	269
13.2	Estructura de gobernanza de la NAMA RSM	272
13.3	Plan de gestión e implementación de la NAMA RSM.	281
14	Anexos	290
14.1	Anexo 1: Encuesta a los rellenos sanitarios	290
14.2	Anexo 2. Respuesta de los rellenos sanitarios a la encuesta	296
14.3	Anexo 3. Grandes Operadores del servicio de aseo en Colombia: casos Veolia e Interaseo.....	297
14.4	Anexo 4. Manual del Fondo Territorial de Cambio Climático	299
14.5	Anexo 5. Respuesta de taller Co-beneficios.....	300
14.6	Anexo 6. Escenarios NAMA RSM.....	301
14.7	Anexo 7. Cálculos línea base y escenario BAU	302
14.8	Anexo 8. Socializaciones locales y regionales NAMA RSM Colombia	303
14.9	Anexo 9. Cuadro de control del sistema MRV de la NAMA RSM	304
14.10	Anexo 10. Gráficos y tablas capítulo 11	305
15	Glosario de términos	306
16	Bibliografía.....	307

Estructuración y formulación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

Informe final

1 Antecedentes

Colombia aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) mediante la Ley 164 de 1994 y el Protocolo de Kioto a través de la Ley 629 de 2000, aceptando las directrices de la Convención Marco de las Naciones Unidas en donde se establece el compromiso de estudiar a fondo las medidas que sea necesario tomar en virtud de la Convención para atender las necesidades y preocupaciones específicas de los países en desarrollo. De igual forma, establece en su artículo 4° numeral 1, literal b) el compromiso de las partes de formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático.

Así mismo, en el marco de la Convención se han tomado decisiones buscando promover medidas de mitigación en países en desarrollo para que estos puedan contribuir en la medida de sus posibilidades con las metas globales de mitigación de cambio climático. Es así como en el Plan de acción de Bali (CP.13, 2007) quedó consignado que las partes de la Convención que son países en desarrollo deberían promover Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs por sus siglas en inglés) en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por la transferencia de tecnología, la financiación y la construcción de capacidad de una manera medible, reportable y verificable.

En general, las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs) son políticas, regulaciones, programas u otro tipo de acciones que reducen las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) de sus niveles tendenciales o “business as usual” y que, a su vez contribuyen a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de los países en las cuales se implementan. El concepto de “NAMA” es flexible y no existe a nivel internacional una definición sobre el alcance, o estructura para este tipo de acciones. A pesar de lo anterior, diferentes países y organizaciones han generado espacios de discusión que buscan esclarecer conceptos, definir lineamientos básicos y compartir experiencias que puedan ayudar a avanzar hacia la implementación exitosa de NAMAs en países en desarrollo. A nivel nacional, las NAMAs están enmarcadas dentro de la política nacional de cambio climático específicamente dentro de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC).

Más adelante, en Copenhague (COP 15, 2009) algunos países en desarrollo presentaron por primera vez compromisos voluntarios en reducción de emisiones en forma de NAMAs. Estos compromisos fueron ratificados en Cancún durante la conferencia de las partes del 2010. Por otra parte, en el Acuerdos de Cancún (COP 16, 2010), la Conferencia de las Partes agregó que las NAMAs deben contribuir con la desviación de las emisiones de gases efecto invernadero de los escenarios tendenciales o ‘business as usual’ de países en desarrollo.

Posteriormente en Durban (COP 17, 2011), la Conferencia de las Partes solicitó a las partes que a través del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Técnico desarrollaran unos lineamientos generales para la medición, reporte y verificación de NAMAs financiados localmente en países en desarrollo. Aunque aún no se han establecido de manera clara estos lineamientos, se definió que debían ser generales, construidos a partir de las herramientas existentes en cada país, y dirigidos domésticamente.

Es así como la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia fue designada como punto focal de comunicación con la Secretaría Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático para el Registro de las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas en el NAMA Registry, teniendo en cuenta su competencia técnica en el diseño e implementación de NAMAs en Colombia.

De igual forma, en el año 2011 se expidió el documento CONPES 3700 “Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia” respondiendo a la necesidad del país de comprender y actuar frente a este fenómeno como una problemática de desarrollo económico y social. En ese sentido, con este documento de política se busca generar espacios para que los sectores y los territorios integren dentro de sus procesos de planificación, estrategias para enfrentar al cambio climático, articulando a todos los actores para hacer un uso adecuado de los recursos, disminuir la exposición y sensibilidad al riesgo, aumentar la capacidad de respuesta y preparar al país para que se encamine hacia la senda del desarrollo sostenible, generando competitividad y eficiencia.

Previendo y respondiendo a estos lineamientos, la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible inició en 2010 la estructuración de la Estrategia de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) que tiene como principal objetivo desligar el crecimiento económico de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Además, con esta Estrategia el gobierno nacional busca:

- Aprovechar opciones de financiación internacional, (cooperación bilateral y multilateral, financiación pública o privada, fondos climáticos y mercados de carbono), fortaleciendo la capacidad de los sectores para atraer recursos financieros y técnicos que, en el marco de sus prioridades de crecimiento, faciliten el desarrollo bajo en carbono;
- Promover y facilitar la transferencia de tecnología a los sectores productivos del país
- Evitar futuras barreras no arancelarias y de frontera a los productos colombianos de exportación y
- Potencializar la competitividad de los sectores colombianos ante una economía global influenciada por estándares de carbono-intensidad.

A nivel nacional, en el marco de la ECDBC, el país ha estimado proyecciones de emisiones Business as Usual (BAU), construyendo curvas de abatimiento sectoriales que permitan generar información acerca del potencial de reducción de emisiones y sus costos asociados. De igual forma, se ha finalizado la formulación de ocho Planes de Acción Sectoriales de Mitigación (PAS) para los sectores de energía eléctrica, minería, hidrocarburos, vivienda, residuos, industria, transporte y agricultura, en donde se establecieron líneas estratégicas para el desarrollo y articulación de políticas, acciones y programas que determinarán la ruta de crecimiento de bajo carbono de cada uno de los sectores productivos.

2 Introducción

La Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) promueve la formulación e implementación de acciones de mitigación y/o NAMAs en todos los sectores del país, coordinando acciones conjuntas para promover un desarrollo económico desligado de la generación de emisiones de gases efecto invernadero, pero alineados con los objetivos de desarrollo y políticas sectoriales del país. Así, dentro de las apuestas de mitigación del país se contemplan acciones como la **NAMA de Residuos Sólidos Municipales**, como instrumento de implementación del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial (PIGCCS) del MVCT (Adoptado mediante la resolución 431 de febrero de 2020), instrumento que tiene como fin identificar, evaluar y orientar la incorporación de medidas de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y adaptación al cambio climático en las políticas y regulaciones del sector con el objeto de mejorar la competitividad y sostenibilidad de las ciudades y los territorios. (Entre las medidas de mitigación de GEI priorizadas por el Ministerio están, además de la Gestión de Residuos Sólidos, el Tratamiento de Aguas Residuales, la Eficiencia Energética y fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), y medidas orientadas a contribuir a la reducción y control de la deforestación).

Por su parte, la respuesta como país a través del Sistema Nacional de Cambio Climático -SISCLIMA- (Dec. 298 de 2016), en cabeza de su Comité de Gestión Financiera, ha sido la **Estrategia para acceso a los recursos del Fondo Verde del Clima** (GCF por sus siglas en inglés), en la cual se contempló el marco de acceso a recursos Readiness para el proyecto de NAMA de Residuos sólidos municipales (por un estimado de \$310.000 en el año 2017) con Findeter como socio implementador (DNP-Finanzas del Clima, 2017). Dentro de los temas priorizados para su integración en los instrumentos de planeación nacional, se relacionaron, para la temática de aprovechamiento y disposición de residuos sólidos, el manejo integral de los residuos, el tratamiento y eliminación de aguas residuales, el compostaje y el reciclaje, así como particularmente la captura y quema de metano en rellenos sanitarios. (GCF Readiness Programme, 2018).

La consolidación de este proyecto permitirá definir la necesidad de apoyo financiero, de transferencia de tecnologías y de construcción de capacidades para continuar con la implementación de acciones de mitigación bajo la ECDBC. De igual forma apoyará el proceso de estimación de metas y compromisos de mitigación para alcanzar la reducción del 51% de las emisiones GEI proyectadas al año 2030 presentado ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

3 Información de los responsables de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

3.1 Información del proponente de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

Nombre de la entidad	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Responsabilidades principales	Principal responsable de la iniciativa de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales, encabezaré la implementación de las medidas de mitigación, y proveeré los arreglos entre los diferentes actores para garantizar el flujo de financiación, y la efectividad de la mitigación.
Persona y datos de contacto	Zayda Janeth Sandoval Núñez Coordinadora Grupo de Desarrollo Sostenible Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico zsandoval@minvivienda.gov.co Calle 18 No. 7-59, Bogotá, Colombia Tel: +57 (1) 4197099

3.2 Información de la entidad coordinadora de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

Nombre de la entidad	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Responsabilidades principales	Principal responsable de la iniciativa de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales, encabezaré la implementación de las medidas de mitigación, y proveeré los arreglos entre los diferentes actores para garantizar el flujo de financiación, y la efectividad de la mitigación.
Persona y datos de contacto	Zayda Janeth Sandoval Núñez Coordinadora Grupo de Desarrollo Sostenible Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico zsandoval@minvivienda.gov.co Calle 18 No. 7-59, Bogotá, Colombia Tel: +57 (1) 4197099

4 Propósito y Objetivos de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

4.1 Objetivo general

Proponer e implementar acciones para la mitigación de Gases Efecto Invernadero generados en la etapa de tratamiento y eliminación de residuos sólidos municipales a nivel de relleno sanitario.

4.2 Objetivos específicos

- Aumentar el aprovechamiento y valorización de los residuos
- Reincorporar los residuos al ciclo económico
- Mejorar la salud de la población
- Incrementar la vida útil de los rellenos sanitarios en funcionamiento en el corto y medio plazo

4.3 Alcance

La NAMA de Residuos Sólidos Municipales define las medidas y acciones de mitigación al cambio climático en la gestión de los residuos sólidos municipales, en las actividades de tratamiento y disposición final llevadas a cabo en los rellenos sanitarios. También identifica y cuantifica las potenciales reducciones de GEI, así como los co-beneficios ambientales, económicos y sociales asociados, que contribuyen a las metas de las NDC así como a los objetivos de desarrollo sostenible del país. Adicionalmente, planteará los mecanismos de financiamiento de las medidas y acciones propuestas, y establecerá un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para el seguimiento, y lineamientos para la implementación.

5 Sector de los residuos sólidos municipales en Colombia

5.1 Contexto

En el año 2018 en Colombia se dispusieron 11.056.824 toneladas de residuos sólidos en sistema autorizado equivalentes al 97,8%, y en sistema no autorizado se dispusieron 248.309 toneladas equivalentes al 2,2%. En total se dispusieron 11.305.133 toneladas. (SSPD-DNP, 2019).

De la misma forma, en el año 2017 se dispusieron en sistema autorizado 10.007.422 toneladas equivalentes al 96,9%, en sistema no autorizado se dispusieron 320.129 toneladas equivalentes al 3,1%. En total se dispusieron 10.327.551 toneladas. (SSPD-DNP, 2018). Finalmente, en el año 2016 se dispusieron en sistema autorizado 11.032.466 toneladas equivalentes al 97,6%, en sistema no autorizado se dispusieron 268.328 toneladas equivalentes al 2,4%. En total se dispusieron 11.300.794 toneladas. (SSPD-DNP, 2017a).

Tabla 1. Resumen de toneladas, municipios y sitios de disposición final para las tres últimas vigencias con informe oficial para sistemas autorizados y no autorizados

Tipo de Sistema	Año 2018				Año 2017				Año 2016			
	Toneladas	% Ton	Nº Municipios	Nº SDF	Toneladas	% Ton	Nº Municipios	Nº SDF	Toneladas	% Ton	Nº Municipios	Nº SDF
Autorizado	11.056.824	97,8	994	192	10.007.422	96,9	865	155	11.032.466	97,6	915	178
No Autorizado	248.309	2,2	116	116	320.129	3,1	244	61	268.328	2,4	104	97
Total año	11.305.133		1110	308	10.327.551		1109	216	11.300.794		1019	275

Fuente: SSPD-DNP, 2017-2019

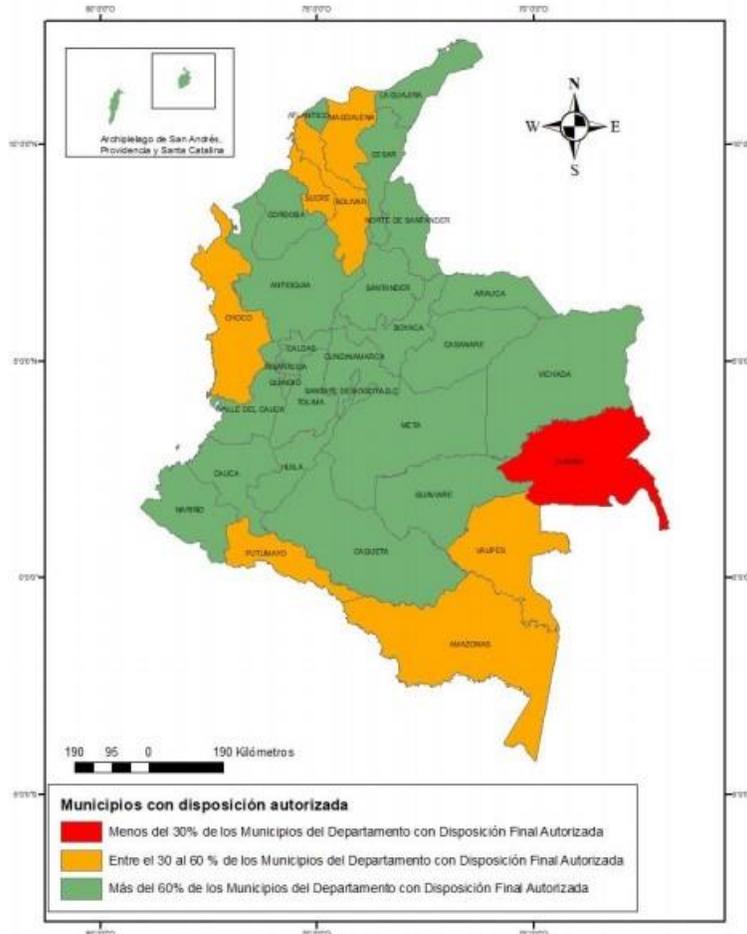
Colombia ha venido promoviendo desde el año 2005 una política de sustitución de sitios de disposición final no adecuada, por sitios ambientalmente autorizados. De acuerdo con la Super Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), Para 2017, el 78% de los municipios (865) se encontraba disponiendo en sitios autorizados, 5% (61 municipios) en sitios no autorizados y 17% no registró información. (SSPD-DNP, 2017a). Las cifras históricas, reflejaron un decremento con respecto a la situación del 2016. Lo cual nos indica que con las políticas actuales de mitigación de gases efecto invernadero, el estado tiene un reto para terminar con estos sitios de disposición final no adecuada, que, aunque correspondientes a pequeñas poblaciones hoy no deberían existir.

Figura 1 Resumen contexto general de la disposición final al año 2018 en Colombia.



Fuente: SSPD, 2018 – Informe nacional de disposición final de residuos sólidos para Colombia

Figura 2 Estado departamental de la disposición de residuos



Fuente: SSPD, 2018 – Informe nacional de disposición final de residuos sólidos para Colombia

Tabla 2. Porcentaje de departamentos disponiendo en sitios autorizados, años 2013-2017

% Departamentos	2013	2014	2015	2016	2017
	Departamentos				
>90%	10	13	15	12	14
60% - 90%	14	11	11	14	10
<60%	7	7	6	7	8
Sin información	2	2	1	-	1
Total	33	33	33	33	33

Fuente: Informe de disposición final de residuos sólidos 2018 de la SSPD

En el contexto que compete al marco de formulación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia, en su mayoría los residuos sólidos son dispuestos en sitios de disposición final (SDF) autorizados. Es así como el 97,8% de las toneladas generadas en Colombia en el año 2018, correspondientes a la operación del servicio público de aseo de 994 municipios, se depositó en 192 SDF autorizados. Por su parte, 116 municipios dispusieron sus residuos sólidos en botaderos a cielo abierto y celdas transitorias; no obstante, las cantidades dispuestas en estos sitios representan una minoría frente a la totalidad del país. (SSPD-DNP, 2019).

En total, para el año 2018 se reportaron en el SUI 308 SDFs con base en el reporte anual de la SSPD. Frente a los sistemas autorizados, predominaron los rellenos sanitarios, seguido de las celdas de contingencia, además de las plantas de tratamiento; mientras que, para los no autorizados, se presentaron mayoritariamente los botaderos a cielo abierto y en menor proporción las celdas transitorias. (SSPD-DNP, 2019).

El Relleno Sanitario es el sistema de disposición final que predominó en la operación del **88%** de los municipios de la geografía nacional y conglomeró el 96% de los residuos sólidos provenientes del servicio público de aseo durante el año 2018. (SSPD-DNP, 2019). Los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico, así como el Distrito Capital, concentraron el 53% del total de toneladas dispuestas en el país. Para la vigencia 2017 se dispusieron 30.081 Toneladas de residuos diarios en Colombia. (SSPD-DNP, 2018).

Con base en los informes de la Superintendencia de Servicios Públicos de 2010 a 2018 la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios para las ciudades capitales del país ha aumentado como se puede ver en la gráfica siguiente.

Gráfica 1. Evolución de los residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios en Colombia



Fuente: (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019)

De esta manera, los tres últimos informes nacionales de disposición final de residuos sólidos oficiales de la Superintendencia de Servicios Públicos y el DNP, permitieron concluir que el comportamiento de los residuos en ocho de las áreas urbanas más densamente pobladas del país es acorde con el patrón exhibido en la gráfica.

Tabla 3. Toneladas de residuos depositadas por las 8 entidades territoriales municipales / distritales con mayor población en los años 2016 a 2018 en Colombia

Ciudad	Toneladas 2018	Toneladas 2017	Toneladas 2016
Bogotá D.C.	2.323.678	2.225.565	2.175.203
Santiago de Cali	756.304	687.609	713.844
Medellín	659.035	650.371	625.257
Barranquilla	526.333	634.770	513.613
Cartagena	454.822	324.436	419.272
Bucaramanga	200.612	203.279	290.692
Santa Marta	184.772	189.551	180.082
San Juan de Pasto	120.705	118.255	107.280

Fuente SSPD-DNP, 2017-2019, Elaboración propia de la consultoría.

5.2 Caracterización general

En el análisis de la operación de disposición final en el territorio nacional en el año 2018, de un total de 308 sitios sistematizados, 174 de éstos correspondieron a rellenos sanitarios, 15 sitios correspondieron a celdas transitorias, otros 15 sitios más se identificaron como celdas de contingencia, por su parte, 101 sitios se clasificaron como botaderos a cielo abierto y finalmente 3 sitios correspondieron con plantas de tratamiento. (SSPD-DNP, 2019).

Como parte del seguimiento a las metas definidas de la política nacional de residuos vigente, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios ha realizado un seguimiento periódico a la situación y evolución de la disposición final de los residuos sólidos en el país, para residuos sólidos ordinarios. De acuerdo con el último informe de disposición final de la Superintendencia, en Colombia **el 96% de los residuos destinados a disposición final son dispuestos en relleno sanitario**. (SSPD-DNP, 2019).

Tabla 4. Análisis de la disposición final en sitios adecuados para los tres últimos años con reporte

Tipo de Sistema	Año 2018				Año 2017				Año 2016			
	Toneladas	%	Nº Mpios	Nº SDF	Toneladas	%	Nº Mpios	No SDF	Toneladas	%	Nº Mpios	Nº SDF
Relleno Sanitario	10.853.834	96,01	973	174	9.951.027	96,35	842	144	10.904.459	96,5	891	158
Celda de Contingencia	191.435	1,69	18	15	44.241	0,43	9	8	109.419	1,0	15	13
Planta de Tratamiento	11.555	0,1	3	3	12.155	0,12	14	3	18.589	0,16	9	7
Total año			994	192			865	155			915	178

Fuente: SSPD-DNP, 2017-2019

En Colombia en el año 2018 se depositaron 10.853.833,9 toneladas de residuos en rellenos sanitarios, equivalentes al 96,01% de total de residuos producidos y depositados durante ese año. (SSPD-DNP, 2019). De igual forma, para el año 2017 se depositaron 9.951.026,9 toneladas que correspondieron al 96,35% de residuos (SSPD-DNP, 2018), y para el año 2016 se depositaron 10.904.459 toneladas equivalentes al 96,5% del total de residuos recolectados, transportados y dispuestos (SSPD-DNP, 2017a).

Así mismo, en el año 2018 fueron sometidas a procesos de tratamiento 11.555,05 toneladas de residuos, equivalentes al 0,1% de los residuos producidos durante ese año en tres plantas de tratamiento que operaron en el país. (SSPD-DNP, 2019). En el año 2017 se llevaron 12.154,7 toneladas a las tres plantas de tratamiento en operación continua durante este trienio de análisis equivalentes al 0,12% de los residuos generados durante ese año (SSPD-DNP, 2018), y en el año 2016 se trataron 18,589 toneladas correspondientes al 0,16% del total de residuos generados en ese año en tres plantas de tratamiento mayores a 2500 suscriptores y cuatro plantas menores de 2500 suscriptores.

La mayor porción de la distribución departamental concentra los residuos sólidos del distrito capital y los tres departamentos con mayor densidad poblacional y urbanización, con un 51,41% en total distribuidos en un 20,55% para Bogotá D.C., un 11,6% para el departamento de Valle del Cauca, un 11,54% para el departamento de Antioquia y un 7,71% para el departamento de Atlántico. (SSPD-DNP, 2019). Este comportamiento es conforme con la tendencia del año 2017 en el que los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico, así como el Distrito Capital, concentraron el 53% del total de toneladas dispuestas en el país (SSPD-DNP, 2018).

Con relación a la capacidad de los rellenos sanitarios, Colombia dispuso 30.973 toneladas diarias en promedio durante el año 2018 en los 1.102 municipios. De las 10.853.833,9 toneladas dispuestas en 2018 en rellenos sanitarios equivalentes a 29.736,53 toneladas diarias, se destacaron los distritos de Bogotá D.C. en el Relleno Sanitario Doña Juana con 6.454,66 t/día, Barranquilla en el Relleno Sanitario Los Pocitos con 1.462,04 t/día y Cartagena de Indias en el Relleno Sanitario Loma de Los Cocos con 1.263,39 t/día. De igual forma destacaron en volumen de residuos diario los municipios de Santiago de Cali con disposición final en el Relleno Sanitario Regional Colomba El Guabal de 2.084,30 t/día y Medellín en el Relleno Sanitario La Pradera de 1830,36 t/día. (SSPD-DNP, 2019).

Por su parte, los departamentos con menor cantidad de toneladas dispuestas reportadas en el año 2018, correspondientes en su mayoría a la región Amazonia, fueron Vaupés con un 0,01% (3,7 t/día), Amazonas 0,03% (8,42 t/día), Guainía con un 0,04% (11,84 t/día) y Vichada de la región Orinoquia con un 0,08% (24,12 t/día). El total de residuos de estos cuatro departamentos no alcanza el 2% de la producción diaria nacional. (SSPD-DNP, 2019).

Conforme a datos de la SSPD, en el año 2010 tan sólo el 43% de los municipios del país disponía adecuadamente sus residuos (Andesco, 2020), ya en el año 2018 el porcentaje de cobertura de los municipios fue aprox. del 90%, (*entre un 88,29% equivalente a 973 municipios con disposición final en rellenos sanitarios y un 1,63% correspondiente a 18 municipios con disposición final en celdas de contingencia*). (SSPD-DNP, 2019). En estos últimos años se ha fortalecido la regionalización en el componente de disposición final, lo que consecuentemente ha llevado a incrementar la cobertura de la disposición final adecuada.

En el año 2018, los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cauca, Cundinamarca y Valle del Cauca, junto al Distrito Capital, generaron más de 1000 toneladas diarias de residuos. Los departamentos de Caldas, Córdoba, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima generaron entre 600 y 1000 toneladas diarias de residuos. Los departamentos de Archipiélago de San Andrés y Providencia, Boyacá, Caquetá, Casanare, Cesar, Chocó, Huila, La Guajira, Nariño, Sucre y Quindío generaron entre 140 y 600 toneladas diarias de residuos. Finalmente, los departamentos de Amazonas, Arauca, Guainía, Guaviare, Putumayo, Vaupés y Vichada generaron menos de 140 toneladas diarias de residuos. (SSPD-DNP, 2019).

Los departamentos de Archipiélago de San Andrés y Providencia y Atlántico concentraron en el año 2018 las mayores producciones per cápita (PPC) sobre los 0,85 Kg/hab/día. La mayoría del territorio nacional presentó una PPC inferior a 0,64 Kg/hab/día. Los departamentos de Norte de Santander y Risaralda exhibieron PPCs entre 0,64 y 0,74 Kg/hab/día y los departamentos de Bolívar y Cauca, así como el Distrito Capital, presentaron PPCs entre 0,74 y 0,85 kg/hab/día. (SSPD-DNP, 2019).

Una variable importante en la selección de tecnologías para el tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos, que permita la sustitución de la tecnología de rellenos sanitarios es la vida útil licenciada de cada uno de los actuales sitios de disposición final. El 39% de los sitios autorizados cuentan con licencias ambientales próximas a vencer. El 39% concluiría este año 2020, según el informe de SSPD DNP 2018.

Tabla 5 Vida útil según sistema de disposición autorizada en el año 2017

						
Tipo de sistema	Vencida	Entre 0 a 3 años	Entre 3 y 10 años	Mayor a 10 años	Sin información	Total general
Celda de contingencia	3	3	1	0	1	8
Planta de tratamiento	0	1	1	0	1	3
Relleno sanitario	25	29	32	48	10	144
Total general	28	33	34	48	12	155

Fuente: SSPD-DNP, 2018

Al año 2018 se sistematizaron 20 rellenos sanitarios que demandan atención por temas de licencia ambiental en la estimación del vencimiento de vida útil, bien sea que en efecto deban cerrarse del todo o que aún haya área disponible y obras planificadas. De igual forma, se registraron 26 rellenos con estimación de vida útil próxima a expirar en el siguiente trienio, 56 rellenos en un rango entre 3 y 10 años de vida útil y 64 rellenos con una vida útil estimada sobre los 10 años, también se registraron 8 rellenos sin cálculo de vida útil. (SSPD-DNP, 2019).

De éstos se resaltan el Relleno Sanitario Regional La Pradera en proximidades al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Regional El Carrasco en Bucaramanga y el Parque Ecológico Regional Praderas del Magdalena en Girardot, como los tres con mayor capacidad y en el rango de mayor proximidad al vencimiento de su vida útil conforme al cálculo para su capacidad técnica y la expedición de las licencias ambientales respectivas. En el rango de 3 a 10 años se destacaron el Relleno Sanitario Doña Juana de Bogotá D.C., La Esmeralda de Manizales, El Oasis de Sincelejo, La Miel de Ibagué, Los Corazones de Valledupar, Córdoba de Buenaventura, Guayabal de Cúcuta y La Glorita de Pereira. (SSPD-DNP, 2019).

Los rellenos sanitarios en Colombia se diseñan y operan para tratar y disponer bajo la legislación vigente los residuos sólidos provenientes de los municipios a los que presentan servicio. Los diferentes procedimientos y obras civiles incluyen la adecuación de suelos desde descapotés, terraplenes, baqueos, niveles, etc.; impermeabilización de suelos con geomembranas, construcción de filtros, canales de conducción de lixiviados y planta de tratamiento de lixiviados, compactación, coberturas con cal y arcilla, chimeneas para extracción de gases de la masa de residuos bien sea con fines de aprovechamiento o de control a través de quemas en las antorchas de combustión. (UAESP, 2020).

En los rellenos sanitarios en Colombia predomina la quema de biogás en antorchas de control y sólo en casos aislados existe institucionalización en torno de este manejo, como el caso particular del Distrito Capital, en el que se ha trascendido la quema simple hacia el aprovechamiento energético del biogás y a través del cual se ha logrado valorizar el recurso mediante la emisión de certificados de reducción de emisiones (CER) -conforme a lo establecido en los convenios internacionales de cambio climático desde el protocolo de Kioto- y la transformación del biogás en energía eléctrica. No obstante, otros rellenos sanitarios que han contado con la asesoría de Biogás Doña Juana o que en su defecto, han sido objeto de manejo de gases mediante contrato con el operador son Loma de Los

Cocos con Caribe Verde en Cartagena, y los de Servigenerales, ahora Urbaser, Pírgua en Tunja, Loma Grande en Montería con proyecto de Planta de aprovechamiento y Andalucía en Montenegro Quindío. De igual forma, La Pradera en el centro antioqueño, Colomba - El Guabal de Yotoco de Cali Regional Presidente de Buga y Los Pocitos de Barranquilla, tienen en su horizonte implementar tecnologías de aprovechamiento energético de biogás en el mediano plazo.

Por su parte, la composición de los residuos sólidos, según los análisis recientes de la información de la SSPD para la caracterización física, indica que de esos 11,3 millones de toneladas de residuos anuales producidos en el país, equivalentes aproximadamente a unas **21,6 Mton de CO_{2eq}** conforme a los análisis del informe de actualización de la NDC para Colombia (UNFCCC, 2020), y específicamente de las 10,8 Mton de residuos dispuestos en los rellenos sanitarios que hacen caracterización requerida por norma para cargar al SUI en este caso, la materia orgánica (entendida como residuos de comida y cocina) alcanza un 54,1%, los plásticos llegan al 12,42%, otros residuos orgánicos llegan al 7,51%, el papel llega a un 5,73%, el cartón alcanza un 4,29%, los metales un 4,25% y otros inorgánicos un 4,21%, de igual forma el vidrio exhibe un 3,47%, los textiles un 1,72%, la madera un 0,76%, la goma un 0,53%, los higiénicos un 0,39%, el cuero un 0,22%, el poliestireno (icopor) un 0,12%, las cenizas, polvo, suciedad un 0,11%, los huesos un 0,02%. (Elaboración propia, con base en SUI-SSPD, 2006-2019).

5.3 Descripción de la gestión de residuos sólidos municipales en los rellenos sanitarios

Durante el año 2018, 973 municipios dispusieron sus residuos en rellenos sanitarios, mientras 101 municipios dispusieron en botaderos a cielo abierto, 15 municipios depositaron respectivamente en celdas de contingencia y en celdas transitorias y 3 municipios llevaron sus residuos a planta de tratamiento. (Tabla 4)

De los 174 rellenos sanitarios reportados en operación para el año 2018, 62 de ellos correspondieron a rellenos sanitarios regionales con un total de 961 municipios atendidos. (SSPD-DNP, 2019). De igual forma, de los 144 rellenos sanitarios reportados en operación para el año 2017, 51 de éstos correspondieron a rellenos sanitarios regionales con un total de 885 municipios atendidos. (SSPD-DNP, 2018).

La cobertura que dieron los rellenos a la gestión en el año 2018 fue del 88,29% de los municipios y del 96,01% de los residuos generados en las operaciones de aseo. (SSPD-DNP, 2019). En el año previo, el Relleno Sanitario fue igualmente el sistema de disposición final que predominó en la operación del 78% de los municipios de la geografía nacional y conglomeró el 97% de los residuos sólidos provenientes del servicio público de aseo. (SSPD-DNP, 2018). En el año 2016, por su parte, se depositó el 96,5% de los residuos generados correspondiente a la operación del 87,4% de los municipios (SSPD-DNP, 2017a), con lo cual se afirma la tendencia de estas proporciones en los últimos años.

El departamento de Guainía no tuvo disposición final autorizada en la vigencia 2019. Los departamentos de Vaupés (33%), Chocó (37%) y Amazonas (50%) tuvieron los porcentajes más bajos de cobertura en disposición final autorizada durante este año. Por otro lado, los departamentos de Bolívar, Magdalena, Putumayo, Guaviare y Cauca exhibieron porcentajes entre el 50% y el 80%. Los departamentos de Meta, Nariño, La Guajira, Caquetá, Sucre y Tolima reportaron disposición final autorizada entre el 80% y el 90% de los municipios. Los departamentos de Cesar, Antioquia, Boyacá y Santander reportaron porcentajes entre el 90% y el 98% de sus municipios con disposición autorizada. Los demás departamentos y el Distrito Capital tuvieron una disposición 100% autorizada.

Se enfatiza en que 26 departamentos y el D.C. la disposición en sitios autorizados supera el 60% de sus municipios /distritos (SSPD-DNP, 2019).

En el período 2016-2017, 158 Sitios de Disposición Final han reportado información al SUI sobre vida útil, de éstos, el 35% tienen una vida útil ya caduca o próxima a expirar en no más de los siguientes tres años. Esto se ha detectado en la planeación estratégica como una alerta a la operación del servicio de aseo si no se aborda de manera adecuada a través de programas de disposición final en estas zonas del país. (SSPD-DNP, 2018).

Como se hizo evidente en el apartado inmediatamente anterior sobre caracterización general, las regiones de Amazonia, Orinoquia y Pacífico son las que requieren mayor apoyo y presencia del gobierno colombiano y sus instituciones para instrumentalizar óptima y eficientemente la Gestión Integral de Residuos en el país, al igual que el Distrito Capital, las urbes de la región Caribe y las principales ciudades de la región Andina son las que demandan mayor gestión en función de su complejidad y volumen.

5.4 Características ambientales

El desarrollo de todo el marco normativo en materia de operación de sitios de disposición final de residuos se basa en las afectaciones negativas a la estructura y las funciones (servicios ecosistémicos y ambientales, ídem) de la plataforma ambiental o estructura ecológica principal de un territorio en cuestión.

Es así como las preocupaciones naturales y evidentes en materia de gestión de residuos se han orientado históricamente, tanto en territorio nacional como en el planeta entero, al control de **olores producidos en la descomposición de grandes volúmenes de residuos con un alto componente orgánico**, al control de **vectores virales, bacteriales, fúngicos y animales** que hallan un nicho ecológico en dichas condiciones de contaminación ambiental y pueden afectar poblaciones humanas cercanas al sitio de disposición final, al manejo de la **contaminación del suelo y el agua por efecto de los lixiviados**, al control de aves de rapiña en la operación aérea, así como al manejo adecuado de los **gases que se producen en los sitios de disposición final** conforme a las técnicas de compactación y a la caracterización de los residuos que alcanza un 40% de materia orgánica aproximadamente.

Los efectos del manejo inadecuado de estos gases pueden ir desde **emisiones de gas metano CH₄ a la atmósfera, que es un gas de efecto invernadero (GEI) causante del cambio climático 28 más potente que el CO₂ (AR5 Synthesis Report- IPCC, 2014); hasta posibles explosiones en las celdas clausuradas o en uso**. Es importante hacer mención respecto de la actual ausencia, en el sector vivienda/residuos en coordinación con el sector Ambiente, de una regulación de los gases efecto invernadero -GEI- y específicamente de este biogás característico con altas concentraciones de metano, por lo que se recomienda a las instituciones a cargo de estos procesos de administración, avanzar en el ejercicio aplicado de sus políticas públicas en torno de este requerimiento específico con procesos y metodologías concretos de control y evaluación.

Por su parte, los cierres y la localización de los sitios de disposición final -SDF- son otros escenarios de gestión que implican el análisis de algunos impactos ambientales como las **afectaciones a la aptitud de uso del suelo** de los sitios que no implementaron sus planes de cierre de forma adecuada y la adecuación de terrenos para la implantación de nuevos vasos y celdas de disposición final o tratamiento, al igual que la apertura de nuevos sitios, lo cual tiene una afectación significativa a las condiciones y características del medio físico y biótico, al igual que al tejido socioeconómico de dichos lugares, como se verá en los productos relacionados con la fase de prefactibilidad específicamente.

La normativa ambiental colombiana se ha orientado en las últimas décadas a minimizar la disposición inadecuada de residuos, la cual se refiere al panorama de impactos ambientales en un territorio con temas por resolver en la producción, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos, producidos por una población usuaria del servicio de aseo. No obstante, contar con la expedición de la licencia ambiental para su operación podría no evidenciar la forma en que esté operando el sitio de disposición final, sea adecuada o no en términos técnicos, dado que esto es un tema de responsabilidad del prestador y del seguimiento acucioso de los diferentes agentes y procesos de control y vigilancia tales como entes de vigilancia a nivel nacional como la Procuraduría, la ANLA, la CRA y la SSPD, así como las autoridades ambientales y las entidades territoriales como garantes de la prestación y el cumplimiento de las normativas técnicas (Artículo 2.3.2.3.15 del Decreto 1784 de 2017) además de las ambientales.

“La disposición final en el país, como componente de la gestión integral de residuos sólidos debe realizarse de manera autorizada y ser verificada constantemente por las diferentes autoridades, con el objetivo de disminuir las afectaciones propias de esta actividad. O en su defecto, migrar a nuevas tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de residuos, direccionadas hacia el cumplimiento de las políticas públicas.” (SSPD-DNP, 2019).

“Una gestión integral de residuos sólidos adecuada es importante, en el marco de la economía circular, para minimizar los impactos negativos en la salud humana y en el ambiente (aire, agua y suelo) que podría producir un mal manejo de residuos. También garantiza un uso eficiente de los recursos (aprovechamiento de materia prima y energía en otros usos)” (DNP-CONPES, 2016) (Documento CONPES 3874 de 2016).

El licenciamiento ambiental para la operación de este tipo de infraestructuras de equipamientos de servicios públicos incluye una serie de requisitos y exigencias desde lo técnico y lo normativo asociadas principalmente a las obligaciones del operador en materia de garantizar un mínimo de calidad ambiental y su impacto positivo en las dimensiones biótica, física y social.

A cargo de este licenciamiento se encuentran las autoridades ambientales regionales o territoriales respectivas, bien sean Corporaciones Autónomas Regionales o Distritos Administrativos. Conforme a los planes de seguimiento y monitoreo de las licencias ambientales y los términos de referencia para la adecuación y operación de rellenos sanitarios en Colombia, la empresa o el prestador, debe mantener a disposición de la autoridad ambiental, la información que soporte los informes de cumplimiento de su plan de manejo ambiental, el cual, por referencia técnica y normativa, debe incluir un mínimo de programas en las dimensiones mencionadas.

En la dimensión física se incluyen p.ej. programas tales como estabilización de taludes, conservación y restauración de la estabilidad geotécnica, atención y protección a sitios críticos, sensibles o vulnerables, desmantelamiento y abandono, entre otros. Por su parte, en la dimensión biótica se incorporan programas de salvamento de fauna silvestre, protección y conservación de hábitats, manejo de descapote y remoción de cobertura vegetal, aprovechamiento forestal, compensación forestal, revegetalización o recuperación de cobertura vegetal aprovechada o removida. En adición, para la dimensión social se contemplan programas de información y participación comunitaria, educación ambiental, rescate arqueológico, apoyo a la capacidad de gestión de los municipios, reasentamiento y relocalización de población, restablecimiento de la base económica afectada, entre otros. (MinAmbiente, 2011. Términos de Referencia Estudio de Impacto Ambiental Rellenos Sanitarios)

Además de las licencias ambientales, existen los instrumentos de gestión de residuos sólidos a cargo de las entidades territoriales del nivel local, los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos o PGIRS, que incluyen diagnósticos y contenidos programáticos con proyectos, actividades y recursos

puntuales para garantizar el mejoramiento continuo del manejo de los residuos sólidos e inclusive la prestación del servicio de aseo a nivel municipal y regional.

La articulación de este instrumento con los objetivos de la NAMA de Residuos Sólidos para Colombia resulta fundamental para aproximar la viabilidad técnica y financiera de las tecnologías y los escenarios de reducción de emisiones propuestos, con las capacidades reales de gestión y financieras de las administraciones locales.

En adición, dado que el PGIRS es un instrumento integral diseñado para toda la cadena de valor del servicio, permite a su vez la concatenación de la disposición final, entendida como actividad central en la generación de gas metano en dicha cadena de valor y por ende actividad central del proyecto NAMA de Residuos Sólidos, con las otras actividades asociadas tales como separación en la fuente, recolección, transporte y aprovechamiento, entendiendo que la actividad de tratamiento hace parte integral de la propuesta de las tecnologías. (MVCT, 2018).

El documento de diagnóstico a la aplicación del nuevo marco tarifario para la prestación del servicio público de aseo consignado en la Resolución CRA 720 de 2015, enfatiza impactos ambientales puntuales tales como *“las afectaciones a la calidad del aire por emisiones de contaminantes como gases de efecto invernadero, gases relacionados con la acidificación de la lluvia y gases que pueden generar afectaciones a la salud”* También menciona entre los retos a la regulación de la actividad, la articulación de los estudios técnicos con los instrumentos de planeación (POTs) y las licencias ambientales de las entidades territoriales y autoridades ambientales respectivas.

Así mismo, este diagnóstico a la aplicación de la Resolución evidencia conclusiones válidas dentro de este análisis de características ambientales tales como que, a pesar de que las toneladas de residuos efectivamente aprovechadas reportadas al SUI tienen un comportamiento de crecimiento mensual, las toneladas de residuos no aprovechables reportadas siguen conservando su tendencia histórica, es decir, así se esté aprovechando y reciclando más material, hay un proceso cultural subyacente que está incrementando la curva de consumo y generación de residuos, por ende las fracciones de residuos en los sitios de disposición final pueden variar, pero los volúmenes y los pesos de los residuos no se están viendo significativamente reducidos con los programas de aprovechamiento.

Otro planteamiento refuerza la idea de la regionalización de la prestación del servicio para esta actividad de disposición final cuando se garanticen mejoras en calidad, continuidad y cobertura, *“a partir de economías de escala comprobables (ET > 5.000 suscriptores), haciendo revisión y ajuste al esquema de prestación de conformidad con lo que se defina en período tarifario y a fin de garantizar una regionalización efectiva en los diferentes mercados locales, con la posibilidad de la existencia de un prestador y una tarifa regional que permita mejorar las condiciones ambientales, técnicas y operativas existentes.”*

“Respecto de la actividad de disposición final, los actores del sector ...[] identificaron como fortalezas de las disposiciones regulatorias para rellenos sanitarios que reciben más de 300 toneladas al mes, el reconocimiento integral de los costos en los que se incurre para la prestación de la actividad incorporando las tecnologías utilizadas en los rellenos sanitarios, la cantidad de toneladas que ingresan de acuerdo con el pesaje y las inversiones que serán necesarias para la clausura y posclausura. Este reconocimiento incentiva la generación de eficiencias, por cuanto se propende por tener rellenos sanitarios regionales y permite acceder a nuevas tecnologías en busca del cumplimiento de indicadores de operación.

Por otro parte, el reconocimiento de dichos costos integrales genera beneficios ambientales visualizados en el hecho de hacer una adecuada disposición de los residuos, con la cual también se

hace posible hacer quema de gases para disminuir los gases de efecto invernadero. (Diagnóstico RES/CRA 720-2015)

Finalmente, los desarrollos técnicos y normativos de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) permitieron la definición la metodología para el establecimiento de un nuevo marco tarifario que incluyese un incentivo al desarrollo de la actividad complementaria de tratamiento, entendida como actividad del servicio público de aseo, alternativa o complementaria a la disposición final que busca la obtención de beneficios ambientales o económicos al procesar los residuos sólidos a través de técnicas de tratamiento mecánico, biológico y/o térmico. (Res. CRA 853 de 2018)

En paralelo, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio fortaleció normativamente este proceso mediante la reglamentación de un instrumento específico de gestión financiera denominado incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos (IAT), a través del cual se ha apostado por una visión de país fortalecido en la gestión integral de residuos que permita reducir los volúmenes de residuos y gases en la disposición final a la vez que se incrementen los proyectos asociados a alternativas de tratamiento, haciendo uso de mecanismos de recaudo de recursos vía tarifa con administración y seguimiento de parte de las entidades territoriales competentes. (MVCT, 2018).

5.5 Características socioeconómicas

La gestión para la disminución de impactos sobre la salud pública mediante la construcción y operación de sitios de disposición final técnica y ambientalmente aptos, por un lado ha connotado la consolidación de una fuerza o capacidad laboral instalada en la operación del servicio de aseo y particularmente de los rellenos sanitarios durante las últimas décadas en territorio nacional; y, por otro lado, ha significado incrementos en la cobertura general de la prestación del servicio de aseo en las dinámicas de ocupación y desarrollo territorial tanto urbano-rurales como urbano-regionales.

Respecto de las temáticas relacionadas con fuerza laboral y fuentes significativas de empleo, en el marco de un desarrollo sostenible basado en apuestas sectoriales de economías verdes, naranjas, circulares o alusivas a la migración hacia tecnologías ambientalmente aptas y socialmente justas, y particularmente en el camino hacia territorialidades, economías y sociedades bajas en carbono; el sector vivienda, agua y saneamiento, y en particular el subsector de residuos, constituye una fuente generadora de empleo constante, en evolución y crecimiento, desde la operación histórica del siglo anterior, hasta los desarrollos jurídicos, técnicos y administrativos de las últimas cuatro décadas en materia de prestación del servicio público de aseo y la actividad de disposición final de residuos sólidos ordinarios.

Es así como empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios con potencial generador de empleo han participado de la evolución de esta gestión de residuos sólidos en Colombia en las actividades de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final, con mayor intensificación en las últimas tres décadas en función de los desarrollos jurídicos normativos, los ejercicios de control y vigilancia del Estado mediante todos sus organismos e instituciones y con un incremento significativo de los actores privados. Con los desarrollos normativos de la década de los 90's del siglo anterior, incluida la nueva Constitución Política de Colombia, muchas Empresas Públicas del Estado para la prestación del servicio de Aseo que operaban con un bajo a muy bajo perfil de recursos, fueron suplidas en su misión corporativa por agentes privados con potencial técnico y financiero para solventar esta demanda social y ambiental inminente.

Las empresas de aseo de las grandes ciudades del país, algunas de ellas aún públicas y otras privadas, son fuente de empleo anual con potencial de generación de centenares de trabajos directos e

indirectos, permanentes y transitorios, conforme a la dinámica y complejidad de cada metrópolis. Entre las empresas más representativas del gremio en territorio colombiano se resaltan Veolia e Interaseo, entre ambas concentran aproximadamente 3.000 empleos entre directos e indirectos. En el caso empresas prestadoras del servicio de aseo con cobertura local y capacidad técnica y financiera limitadas, de igual forma son fuentes significativas de empleo en este subsector, algunas de forma indirecta en la actividad de disposición final y de forma directa en la operación como tal del servicio de aseo en los componentes y actividades de recolección, transporte y almacenamiento de la gestión de residuos en Colombia. Estas empresas pueden tener capacidad de generación de trabajo de decenas de empleos al año, dependiendo igualmente de la realidad socio territorial de cada una de ellas.

Por su parte, los procesos de agremiación y asociación en torno de los residuos sólidos y el servicio público de aseo han derivado en que la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones (Andesco), cuente con un promedio de 40 empresas afiliadas al año, de un estimado de 330 aprox. sistematizadas en el SUI para la vigencia del año 2018 (SSPD, 2019).

La participación de las empresas de servicios públicos en la economía del país ha sido significativa. En 2008, los SPD representaron el 5,1% del PIB debido al auge de las telecomunicaciones y a la red de interconexión de gas domiciliario (Portafolio -economía-finanzas-, 2008). Al año 2017, la participación en el PIB en el análisis de crecimiento económico para Colombia de los subsectores de electricidad, gas, agua y saneamiento ambiental alcanzaba un porcentaje del 3%. El sector de servicios públicos que contempla todas las empresas relacionadas con los procesos de aseo, agua y energía del país, tuvo un crecimiento de 1,1% en el año 2017 (ANDI, 2018). En 2018, para Electricidad, gas, agua y saneamiento ambiental el porcentaje de participación en el PIB se estimó un 2,7% y al tercer trimestre del año 2019 se estimó nuevamente en 2,9% (ANDI, 2019).

Desde la mirada de Andesco, el sector empresarial ha estado al nivel del compromiso de la promoción, tecnificación e inversión en sistemas de disposición final de residuos adecuados. Un ejemplo de esta transformación puede verse en el relleno sanitario Los Pocitos, de la Triple A de Barranquilla, posicionándose como referente internacional en el diseño y operación de sitios de disposición final por su aprovechamiento del biogás producido por los residuos y el uso del agua del tratamiento de los lixiviados para riego. El Grupo EPM, a través de Emvarias opera el relleno sanitario La Pradera con tecnología de ultrafiltración para el tratamiento de lixiviados, así como procesos controlados de quema de biogás para reducir emisiones de GEI y monitoreo de flora y fauna del área. De esta manera, rellenos como éstos asociados con dos de las cuatro principales metrópolis del país, se convierten en referente regional, así como es el caso de los Parques Tecnológicos Ambientales de Veolia en el área de influencia de las ciudades de Buga, Cúcuta, Manizales y Pasto, por sus experiencias en aprovechamiento de biogás y en monitoreo y evaluación de indicadores de biodiversidad. (Andesco, 2020).

En adición, existe la experiencia de Biogás Doña Juana en la ciudad de Bogotá D.C. Entre 2007 y 2010 se puso en marcha el proyecto ambiental piloto e insignia para el país de aprovechamiento y manejo del biogás producido durante los procesos de descomposición de los residuos que llegan al relleno sanitario Doña Juana en el Distrito Capital. Estos procesos de manejo se han orientado a la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de GEI a través del tratamiento térmico (quema) del CH₄. Dicha reducción se realiza en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo de Kioto mediante la producción de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía, con el fin de ser partícipe de la Certificación de Reducción de Emisiones (CER) de metano ante la CMNUCC en Mton del CO_{2eq}, la cual hasta el año 2016, alcanzó la cantidad de 4'637.018 ERU

y con ello ser considerada una de las más importantes del mundo. En 2013 CarbonBW Colombia compró el 100% de las acciones de Biogás Doña Juana. En 2016, se inició la generación de energía con una planta de 1,7 Mw, consolidando dos líneas de negocio, los CER y la generación eléctrica. (Biogás, 2020).

Cabe resaltar también que las reglamentaciones y los marcos tarifarios de aseo (resoluciones 351 y 352 de 2005, y Resolución 720 de 2015 de la CRA), así como los incentivos a la ubicación de rellenos regionales creados a partir de la Ley 1151 de 2007, han fortalecido institucional, técnica y financieramente el desarrollo empresarial de los prestadores del servicio público de aseo y el sector en general de residuos. (DNP-CONPES, 2016). En respuesta de esto, se evidenciaron incrementos en la cobertura de la prestación del servicio público de aseo. En primera medida, las coberturas de recolección de residuos a nivel nacional mejoraron, pasando de un 75,8% en el año 2005 a un 80% en el año 2014, entretanto las coberturas urbanas de recolección pasaron de 94,6% al 97,8% en esa misma década. En segunda medida, se considera que el 73% de los suscriptores del servicio de aseo del país es atendido por prestadores privados con capacidad financiera. (DNP-CONPES, 2016).

La tendencia de la regionalización de los rellenos sanitarios ha sido el efecto de que las empresas con mayor capacidad instalada que garantizan el adecuado tratamiento de los residuos y los demás subproductos de la disposición final, reciban nuevas concesiones de manejo de rellenos sanitarios, y/o gestionen incrementos en las áreas y vidas útiles por licenciamiento ambiental e idoneidad técnica de los que ya tienen a su cargo, mientras los pequeños rellenos y demás sitios de disposición final locales o municipales han sido objeto de cierre, en muchos casos. Esto podría indicar el requerimiento de una estrategia en el marco de la LOOT que se enfoque en rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia más asequibles a las empresas con menor capacidad instalada, que no cuentan con los recursos financieros y técnicos para operar rellenos sanitarios por sus propios medios y consecuentemente han debido incurrir en altos costos de transporte de sus residuos, transfiriendo la problemática ambiental relacionada con GEI a otro subsector, en el caso de las emisiones de los vehículos de las flotillas de estas empresas prestadoras del servicio de aseo, que transportan en algunos casos distancias para su disposición final en estos rellenos regionales, de 100 a 200 Km por vehículo, por ruta, por día de prestación, para evitar incumplimientos.

Respecto de las problemáticas sociales que suscitan las operaciones de los rellenos sanitarios, la gestión evidenciada con los incrementos en la cobertura, el control a sitios disposición final inadecuados y el tratamiento en los términos de la ley de los residuos y los lixiviados y gases producidos, consecuentemente han redundado en beneficios que se evidencian en mejores condiciones en el entorno socioambiental general de los SDF antiguos de las principales urbes del país, bien sea clausurados o con licencias y permisos extendidos hasta el presente, en temas de salud y acceso a recursos y servicios de calidad, reduciendo probabilidades de presentar enfermedades o afectaciones a la salud humana y del territorio.

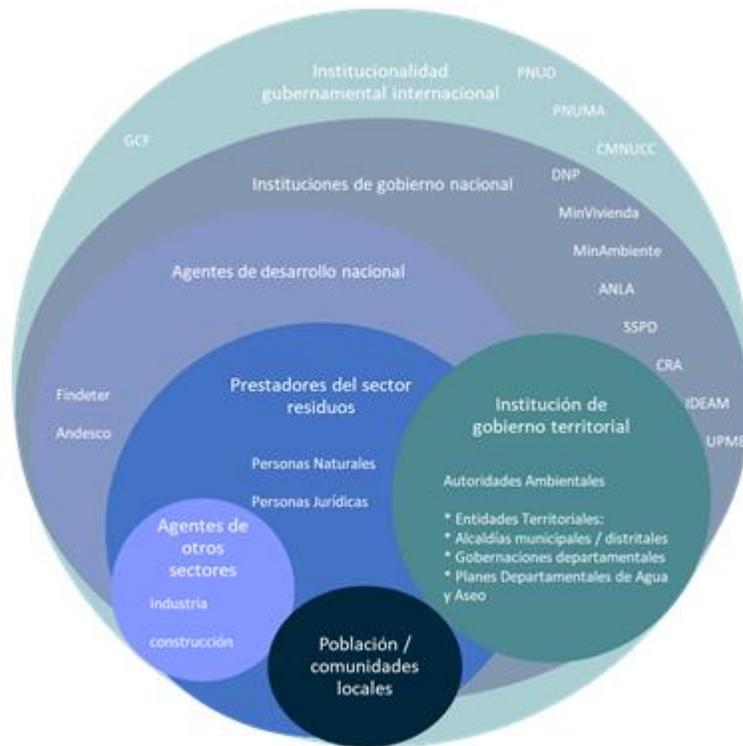
Sin embargo, son recurrentes las situaciones de inconformidad con las comunidades próximas a rellenos sanitarios con preexistencias en el ordenamiento territorial, por un lado de asentamientos humanos con perfiles de acceso a recursos financieros reducidos que por lo general históricamente han derivado directa o indirectamente su sustento del oficio de la recuperación de residuos; por otro lado, en los casos de las parcelaciones campestres, condominios y demás tratamientos de suelo suburbano de uso recreacional o campestre, que encuentran quejas y reclamos en la operación de transporte, especialmente en el caso de los rellenos regionales, así como en la operación de disposición final y sus efectos a nivel local y circunvecino.

Otras infraestructuras como estaciones de transferencia y estaciones de clasificación y aprovechamiento, así como otros procesos con capital social asociados a la GIRS, también pueden verse como fuentes generadoras adicionales de empleo y condiciones adecuadas de vida a las familias de los trabajadores en este subsector en el marco de la reducción de los impactos ambientales de los residuos sólidos. Particularmente, los temas de aprovechamiento de residuos y la formalización de organizaciones cuya actividad principal de ingresos es el reciclaje, dentro del esquema de prestación del servicio público de aseo, se circunscriben en la planificación de la fuerza laboral de las economías emergentes como la verde y la circular. Las estaciones de transferencia por su parte, en temas de regionalización y optimización de recursos a empresas prestadoras, son una realidad inminente en esta década. Ambas temáticas, aprovechamiento y transferencia, han sido objeto de énfasis en los últimos ajustes jurídicos de la normativa sectorial, por lo que se aclara el punto de apalancamiento de la política nacional.

5.6 Actores relevantes

El mapeo ha definido diversos tipos de actores, desde instituciones de gobierno del nivel internacional, nacional y territorial, hasta agentes de desarrollo nacional, agentes privados y públicos del sector residuos, agentes de otros sectores del desarrollo y poblaciones o comunidades, con inclusión de variables como enfoque de género, en contraste con el desarrollo del programa de capacidades y los diversos procesos en torno a la GIRS que se han llevado a cabo recientemente en algunas ciudades.

Gráfica 2. Diagrama relacional de actores relevantes identificados



Fuente: Elaboración Propia de la Consultoría.

Como evidencia el análisis de la Tabla 6, los Programas de Desarrollo de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y para el Medio Ambiente (PNUMA), al igual que la Comisión Macro de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) se identificaron como actores con una relevancia jerárquica por su rol administrador de directrices generales en cada tema de su jurisprudencia, a su vez proveen una plataforma internacional de información, apoyo técnico y financiero y un acervo de experiencias en formulación de NAMAs y medidas específicas de mitigación del cambio climático así como en GIRS y desarrollo sostenible en su conjunto. En adición existe el Fondo Verde del Clima o GCF por sus siglas en lengua inglesa, el cual es un mecanismo de la CMNUCCC encargado de canalizar y redirigir recursos a países en vía de desarrollo para la mitigación y la adaptación al cambio climático.

En el contexto nacional encontramos actores de alta relevancia tales como el Departamento Nacional de Planeación -DNP-, los Ministerios de Vivienda y Ambiente, el IDEAM, Findeter y Andesco. El DNP es la entidad de carácter técnico encargada de dirigir y coordinar el proyecto de visión estratégica del país en los campos social, económico y ambiental, mediante la administración de políticas públicas, la inversión pública y la concreción de las políticas en planes, programas y proyectos del Gobierno.

Por su parte, los Ministerios de Vivienda, Ciudad & Territorio (MVCT), y de Ambiente & Desarrollo Sostenible (MADS), la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), así como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Comisión de Regulación de Agua Potable & Saneamiento (CRA), se identificaron como instituciones de gobierno nacional cuya relevancia mayor radica en que son autoridades a nivel nacional en cada uno de sus sectores generales o subsectores específicos.

El MVCT da línea y rige las políticas, directrices y lineamientos técnicos sobre infraestructura de hábitat y equipamientos tales como rellenos sanitarios. El MADS lidera políticas, directrices y lineamientos en temas de gestión ambiental, control de impactos ambientales en obras de infraestructura y particularmente en la operación de sitios de disposición final de residuos, así como en temas de mitigación del cambio climático. La ANLA es la autoridad nacional en materia de licenciamiento ambiental. La SSPD o Superservicios ejerce a nivel nacional las funciones de inspección, vigilancia y control sobre las entidades y empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, energía, gas y aseo. La CRA por su parte, es una Unidad Administrativa Especial Autónoma adscrita al MVCT cuyas funciones se orientan al señalamiento de las políticas generales de administración y control de la eficiencia en la prestación de los servicios públicos domiciliarios.

Siguiendo la dinámica de la tabla 6, como actores con una relevancia significativa igualmente en la temática se identificaron el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- como la entidad del gobierno de Colombia encargada del manejo de la información científica relacionada con cambio climático, la Unidad de Planificación Minero Energética -UPME- como entidad de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía cuya misionalidad se orienta hacia la planificación del desarrollo minero-energético del país, hacia el apoyo la formulación e implementación de la política pública y hacia la generación de conocimiento e información en torno de este sector, particularmente en el interesa el tema de apoyo a la gestión de los mercados de energías sostenibles.

Así mismo, se identificaron a FINDETER y a ANDESCO como actores del desarrollo nacional con una alta relevancia en la interrelación suscitada en el subsector. El primero de ellos como gestor de procesos e iniciativas de desarrollo nacional, regional y territorial, como el caso de la cadena de valor

del subsector residuos en Colombia y la estructuración de acciones y medidas alineadas con los objetivos de desarrollo del país; el segundo de ellos por su participación en la construcción de políticas públicas, la promoción de mejores prácticas y la generación de información de interés que ayuden al crecimiento sostenible del sector y a la disminución de brechas sociales, promoviendo el cuidado del medio ambiente.

Entre los actores de mayor peso y relevancia en el mapeo, se identificaron las Empresas Prestadoras del Servicio de Públicos de Aseo, tanto aquellas con servicio en varias de las ciudades grandes del país como las empresas de menor capacidad instalada y cobertura que brindan su servicio en los municipios con menos densidad de población y mayor dispersión en el territorio. Las empresas prestadoras del servicio de aseo podrían considerarse actores con un rol clave en la gestión de residuos sólidos en Colombia; desde la inversión hasta los desarrollos técnicos, jurídicos y tácticos de la operación del servicio de aseo y particularmente de la administración y operación de los sitios de disposición final de residuos de las principales ciudades y extensiones de suelo urbano del país, así como de todos los demás municipios de menor población y ocupación territorial.

También se identificaron actores de tipo institución de gobierno territorial, como las alcaldías municipales y distritales, las gobernaciones departamentales de forma directa a través de la figura de los planes departamentales de agua y aseo reglamentados mediante el decreto 1425 de 2019 que modifica el decreto 1077 de 2015, así como las autoridades ambientales, propiamente las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible y las seis autoridades ambientales urbanas para concentraciones superiores a un millón de habitantes. Dentro de los distritos clave para este proyecto se identificaron a Bogotá D.C., Barranquilla y Cartagena, así como áreas metropolitanas y municipios clave de éstas tales como Medellín, Cali, Tunja, Pereira, Bucaramanga, Buga, San Juan de Pasto y los otros municipios con ciudades capitales o ejes de desarrollo subregional que comprenden el universo de rellenos de esta NAMA RSM; los municipios que se convirtieron en aliados y tuvieron mayor aceptación y acogida las socializaciones y procesos de captura y gestión de información fueron Barranquilla, Cartagena, Buga, Tunja y Pereira. No obstante, para la fase de Prefactibilidad de este alistamiento y para el desarrollo de capacidades específicas en los rellenos sanitarios de esta NAMA, se analizaron Pírgua en Tunja y La Glorita en Pereira.

En este caso los primeros, referidos a entes de gobierno y administración pública territorial, son los que en los términos establecidos en la constitución política de Colombia y la regulación vigente en materia de residuos sólidos y servicios públicos domiciliarios, garantizan la prestación del servicio público de aseo en el área de su territorio de manera eficiente, definen el esquema de prestación del servicio y sus diferentes actividades, formulan, aprueban y adoptan el PGIRS, definen las áreas para la localización de los SDF conforme a estudios técnicos, requisitos ambientales y normas urbanísticas, entre otras obligaciones directamente relacionadas con esta temática (Art. 96 Dec. 2981 de 2013, compilado en Dec. 1077 de 2015).

Se aclara que la Constitución Política de Colombia señala que la atención en saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado, corresponde a éste organizar, dirigir y reglamentar servicios de saneamiento ambiental. (Art. 49 C.P.C.) De igual forma, al municipio como entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado le corresponde prestar los servicios que determina la ley (Art. 311 C.P.C.). Se refiere igualmente a los servicios públicos como inherentes a la finalidad social del Estado, por tanto es su deber establecer una prestación eficiente, los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado directa o indirectamente, por comunidades organizadas o por particulares (Art. 365 C.P.C.), también se hace mención de que la ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los

servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta. Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación (Art. 367 C.P.C.).

En el caso de las autoridades ambientales, éstas otorgan o niegan permisos, concesiones, licencias y demás autorizaciones que la índole de las actividades de disposición final requiera, de conformidad con la normatividad ambiental vigente y previos estudios técnicos que avalen estas actuaciones; de igual forma, establecen otras obligaciones ambientales a municipios y distritos de acuerdo con sus funciones y competencias. En adición, son las responsables de acompañar los procesos de planificación del cambio climático territorial y sectorial en sus áreas de jurisdicción.

Otros actores identificados como relevantes fueron los agentes de otros sectores de la economía como la industria y las actividades extractivas en un rol de potenciales clientes de combustible derivado de residuos RCD y de procesos de transformación del biogás en energía, entre otros. Finalmente, se identificaron a los usuarios finales del servicio de aseo como población civil y comunidades étnicas, vulnerables y demás, como la fuente de las emisiones de residuos producto de procesos socio-culturales complejos.

En este punto entonces se hace necesario enfatizar en las comunidades y el enfoque de género, con el objeto de aportar en la transformación de las diferencias culturales, económicas y políticas que generan desigualdades y se expresan en condiciones de exclusión social y discriminación; para coadyuvar con la reconstrucción de los roles y posiciones de las personas más allá de su sexo o identidad sexual, entendiendo el potencial de generación de empleo del sector residuos en los diferentes eslabones de la cadena de valor y particularmente en la que compete a esta NAMA RSM referida a la actividad de tratamiento como complemento a la actividad de disposición final, y tomando como ejemplo el caso de la distribución de las cargas en las flotillas de operarios de la actividad de barrido y limpieza.

Tabla 6. Mapeo de actores por tipo y relevancia conforme a su rol

Actor	Tipo de Actor	Relevancia
ONU: PNUD, PNUMA, CMNUCC	Institución Gubernamental Internacional	Administración de directrices generales en temas de desarrollo, gestión ambiental y cambio climático; plataforma internacional de información y acervo de experiencias en formulación de NAMAs y medidas específicas de mitigación del cambio climático, así como en GIRS y desarrollo sostenible en su conjunto.
GCF – Fondo Verde del Clima		Principal mecanismo internacional de financiamiento climático para prácticas de adaptación y mitigación, a través de ventanas de financiación temática, proyectos, programas y políticas en países en desarrollo adscritos a la CMNUCC como partes.
DNP – Departamento Nacional de Planeación	Institución de Gobierno Nacional	Entidad de carácter técnico encargada de dirigir y coordinar la implantación de una visión estratégica del país en los campos social, económico y ambiental, a través del diseño, la orientación y evaluación de las políticas públicas, el manejo y asignación de la inversión pública y la concreción de las mismas en planes, programas y proyectos del Gobierno.

Actor	Tipo de Actor	Relevancia
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MCVT-	Institución de Gobierno Nacional	Autoridad a nivel nacional en temas técnicos sobre infraestructura de hábitat y equipamientos esenciales, en este caso rellenos sanitarios.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS-	Institución de Gobierno Nacional	Autoridad nacional en temas de gestión ambiental, control de impactos ambientales en obras de infraestructura y operación de sitios de disposición final de residuos, igualmente autoridad nacional en temas de mitigación del cambio climático.
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD-	Institución de Gobierno Nacional	La SSPD o Superservicios ejerce a nivel nacional las funciones de inspección, vigilancia y control sobre las entidades y empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, energía, gas y aseo.
Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento -CRA-	Institución de Gobierno Nacional	Unidad Administrativa Especial Autónoma adscrita al MVCT cuyas funciones se orientan al señalamiento de las políticas generales de administración y control de la eficiencia en la prestación de los servicios públicos domiciliarios. Encargada de aprobar el sistema tarifario para aquellos municipios que han decidido trabajar en sistemas por ASES (áreas de Servicio Exclusivo) y que tienen un sistema tarifario regulado.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-	Institución de Gobierno Nacional	Encargado de la información oficial sobre cambio climático para Colombia.
Unidad de Planificación Minero-Energética - UPME-	Institución de Gobierno Nacional	Orienta la planificación del desarrollo minero-energético del país, apoyar la formulación e implementación de la política pública y la generación de conocimiento e información. I
Findeter	Agente de Desarrollo Nacional	Gestor de procesos e iniciativas de desarrollo Nacional, Regional y Territorial como la cadena de valor del subsector residuos en Colombia y la estructuración de acciones y medidas alineadas con los objetivos de desarrollo del país.
Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones - ANDESCO-	Agente de Desarrollo Nacional	Asociación de prestadores de servicios públicos domiciliarios en el país con participación en la construcción de políticas públicas, la promoción de mejores prácticas y la generación de información de interés que ayuden al crecimiento sostenible del sector y a la disminución de brechas sociales, promoviendo el cuidado del medio ambiente.
Autoridades Ambientales Territoriales	Institución de Gobierno Territorial	Otorgan permisos, concesiones, licencias y demás autorizaciones que la índole de las actividades de disposición final requiera, de conformidad con la normatividad ambiental vigente y previos estudios técnicos. Establecen otras obligaciones ambientales a municipios y distritos de acuerdo con sus funciones y competencias, En adición, son las responsables de acompañar los procesos de planificación del

Actor	Tipo de Actor	Relevancia
		<p>cambio climático territorial y sectorial en sus áreas de jurisdicción.</p> <p>De igual forma, las autoridades ambientales son las encargadas del licenciamiento para tratamiento e infraestructura mayor a 25.000 toneladas, así como otros permisos ambientales (permiso de vertimientos, planes de manejo ambiental, etc.)</p>
Gobernaciones departamentales	Institución de Gobierno Territorial	Las administraciones departamentales tienen una figura denominada “Planes Departamentales Agua y Aseo” para la ejecución de proyectos y el apoyo técnico, financiero y operativo a las administraciones locales en materia de agua y saneamiento básico.
Gobiernos Locales	Institución de Gobierno Territorial	Las administraciones municipales y distritales deben garantizar la prestación del servicio público de aseo en el área de su territorio de manera eficiente, definir el esquema de prestación del servicio y sus diferentes actividades, formular, aprobar y adoptar el PGIRS, definir las áreas para la localización de los SDF conforme a estudios técnicos, requisitos ambientales y normas urbanísticas.
Personas Prestadoras del Servicio Público de Aseo	Agente del sector residuos	Su rol es la prestación del servicio de aseo, es un actor significativo desde los aportes al subsector en la inversión de capital, los desarrollos técnicos, jurídicos y tácticos de la operación del servicio de aseo y particularmente de la administración y operación de los sitios de disposición final de residuos de las principales ciudades y extensiones de suelo urbano del país, así como de todos los demás municipios de menor extensión y distribución geográfica dispersa. Operan pequeños rellenos locales o transportan a rellenos regionales o estaciones de transferencia en la mayoría de los casos. También incluye organizaciones de recicladores, personas naturales o jurídicas en general.
Industrias locales y regionales	Agentes de otros sectores	Potenciales clientes de Combustible Derivado de Residuos WtE, RCD.
Usuarios del servicio de aseo	Poblaciones/comunidades locales	Somos la fuente de las emisiones de residuos producto de procesos culturales, sociales, económicos y políticos. Las comunidades propiamente juegan un rol clave en los procesos de gobernanza y autogestión de los residuos sólidos con el adicional de que son ellos quienes viven más intensamente su problemática en torno de la acumulación y el manejo inadecuado de los residuos sólidos.

Fuente: Elaboración Propia de la Consultoría.

6 Políticas y Regulación

6.1 Políticas y estrategias a nivel nacional

En Colombia, el sector de residuos ha tenido un desarrollo jurídico normativo continuo en las últimas décadas, desde el Código de los Recursos Naturales en 1972 (Decreto-Ley 2811-1972) y el Código Sanitario Nacional en 1979 (Ley 9-1979), abarcando la Ley Nacional Ambiental (Ley 99-1993), la Ley de Servicios Públicos (Ley 142-1994), la primera generación de la Política Nacional para la Gestión integral de Residuos en 1998 del Ministerio del Medio Ambiente, hasta llegar al documento CONPES 3874 de 2016, en el nivel de política pública y marco de planificación nacional.

Cabe resaltar que en la Agenda XXI de la Cumbre de Río de 1992, la Gestión Integrada de Residuos Sólidos (GIRS) se definió como “la implementación de un conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final de los mismos”, en donde se estableció la jerarquía de los residuos, teniendo como prioridad o primera etapa, la prevención en la generación de residuos (etapa más deseable) y como última etapa (menos deseable) la disposición final de residuos.

De igual forma, la Constitución Política de Colombia, en sus artículos 79 y 80 estableció que *“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”, así mismo, “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas”.*

La generación de la Política Nacional de Residuos Sólidos de 1998, en cabeza del Ministerio del Medio Ambiente, fue desarrollada con base en los fundamentos del Documento CONPES 2750 de 1994 en el que se enmarcó la Política Nacional Ambiental Salto Social Hacia un Desarrollo Humano Sostenible. En esta política se definieron como Etapas de la GIRS jerárquicamente definidas: reducción en el origen, aprovechamiento, tratamiento y transformación, disposición final controlada. Se introdujo el concepto de Gestión Diferencial de Residuos Aprovechables y no aprovechables. La base de la diferenciación radicó en la separación y selección en la fuente, lo que consecuentemente derivó en una recolección selectiva hacia los residuos sólidos no aprovechables en una vertiente, residuos sin valor comercial para los procesos de tratamiento y disposición final controlada; y hacia los residuos susceptibles de aprovechamiento en la otra vertiente, residuos sólidos con valor comercial para procesos de clasificación y aprovechamiento (MMA, 1998).

En esta primera generación de la política se definió una jerarquía de los residuos y la posibilidad de valorización de los mismos: También se trazaron tres objetivos fundamentales: i) minimizar la cantidad de residuos que se generan, ii) aumentar el aprovechamiento y valorización de los residuos y iii) mejorar los sistemas de tratamiento y eliminación de los mismos, los cuales fueron implementados paulatinamente y permitieron tener algunos avances frente a la gestión integral de residuos. Posteriormente, el documento CONPES 3530 del año 2008 definió lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos, partiendo de un diagnóstico sectorial a partir de la información SUI de los años 2005 y se definió la publicación anual de la información sobre disposición final desde 2009.

Durante esta década se dio prolongación a la instrumentalización de la política a través del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 reglamentado mediante la Ley 1151 de 2007, en cuyo artículo 101° se estableció como meta una disposición de residuos en sitios de disposición adecuados en el 100% de los municipios, con una línea base a 2006 de 579 municipios y a 2008 de 652 municipios. Se abordó el incentivo a rellenos sanitarios regionales por temas de manejo y control preferente a muchos sitios pequeños e inadecuados y prohibió las restricciones de acceso no justificadas.

De igual forma, en el Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 reglamentado mediante la ley 1450 de 2011 definió mediante el artículo 251° la implementación de áreas estratégicas para operar rellenos sanitarios regionales y estaciones de transferencia, manteniendo los incentivos ya definidos en el anterior PND a municipios con rellenos o estaciones de transferencia en este caso. Así mismo, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 reglamentado a través de la ley 1753 de 2015, en el artículo 88° conservó el incentivo a rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales. El Plan Nacional de Desarrollo Vigente, reglamentado mediante la Ley 1955 de 2019, definió soluciones adecuadas para residuos sólidos en áreas urbanas de difícil gestión y zonas rurales incorporando temas de ordenamiento rural como asentamientos humanos rurales y viviendas rurales dispersas como elementos del componente rural de sus instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de conformidad con la Ley 388 de 1997, la Ley 1454 de 2011 (LOOT) y demás normativas que les modifiquen o reglamenten.

Como se relaciona en la Tabla 7, **actualmente, en el documento CONPES 3874 de 2016, se encuentra consignada la política y el direccionamiento de la gestión integral de residuos sólidos para Colombia en la siguiente década.** La política ha sido enfocada en la gestión de residuos no peligrosos, el desarrollo sostenible, así como la adaptación y la mitigación del cambio climático. En ella se plantean las siguientes estrategias para resolver los problemas identificados: “(i) promover el avance gradual hacia una economía circular, a través del diseño de instrumentos en el marco de la gestión integral de residuos sólidos; (ii) promover la cultura ciudadana, la educación e innovación en gestión integral de residuos como bases para fomentar la prevención, reutilización y adecuada separación en la fuente; (iii) generar un entorno institucional propicio para la coordinación entre actores que promueva la eficiencia en la gestión integral de residuos sólidos, e (iv) implementar acciones para mejorar el reporte, monitoreo, verificación y divulgación de la información sectorial para el seguimiento de esta política pública.” Esta política ha definido que en un horizonte de tres (3) años se deben establecer estrategias para aquellos municipios o regiones de difícil gestión y para aquellos en los cuales persisten formas inadecuadas de disposición final, presencia de recicladores en el frente de trabajo de los rellenos y bajas coberturas en centros nucleados rurales. (SSPD-DNP, 2019).

En lo concerniente con políticas ambientales globales correlacionadas con el Sector Vivienda y el Subsector Residuos, la que directamente se conecta con el proceso de estructuración de una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA) es la **Política Nacional de Cambio Climático (PNCC)**, cuya formulación se ha orientado por los desarrollos técnicos e instrumentales de diferentes procesos como la **Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC)** y por ende, viene obedeciendo a una hoja de ruta histórica en el país en materia de mitigación del cambio climático en el Sector Vivienda, y particularmente en el Subsector Residuos, en los últimos 12 a 15 años desde la entrada en vigor del Protocolo de Kioto.

Así mismo, en el análisis preliminar de la Tabla 8, en un espectro un poco más amplio de políticas ambientales es importante correlacionar los alcances y objetivos de la Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PNGIRS) asociados con las tecnologías analizadas en el horizonte de la NAMA de Residuos Sólidos para Colombia, con los objetivos contenidos de la Política

Nacional para Consolidar el Sistema de Ciudades de Colombia (Documento CONPES 3819/2014), así como con objetivos, líneas estratégicas y dimensiones de la Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), la Política de Gestión Ambiental Urbana (PGAU) y la Política General de Ordenamiento Territorial (PGOT), respectivamente, al igual que con los objetivos y las directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), de la Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (PNGIAS) y de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), todas en el marco de la Política de Crecimiento Verde 2018 -2030 definida por el DNP como resultado del proceso evolutivo de la Misión de Crecimiento Verde que surgió como respuesta a los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS-, luego Estrategia de Crecimiento Verde, ambas alineadas con los procesos específicos de gestión de residuos mencionados en los PND 2011-2014 y 2014-2018, respectivamente.

Por último, no menos relevante, están las sentencias y autos de la Corte Constitucional respecto al material reciclable y la población recicladora. Sentencias T724 de 2003, T291 de 2009, T387 de 2012, y Autos 268 de 2010, 183 y 189 de 2011, y 275 de 2011). Se considera a los recicladores de oficio como población sujeta de protección especial que deben ser tenidos en cuenta en la prestación del servicio público de Aseo.

Tabla 7. Políticas y estrategias vigentes de injerencia en la estructuración de la NAMA Residuos Sólidos Municipales

Política	Marco normativo	Ámbito de aplicación
Política de Crecimiento Verde 2018-2030	Documento CONPES 3934 DE 2018	Nacional, sectorial y territorial en la dimensión ambiental y el desarrollo sostenible con base en los ODS - UN.
Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos	Documento CONPES 3784 de 2016	Nacional y sectorial en temas de disposición final y tecnologías de tratamiento de residuos
Política Nacional para consolidar el sistema de ciudades de Colombia	Documento CONPES 3819 DE 2014	Nacional, suelo urbano grandes ciudades del país en temas de mejoramiento urbano, gestión de residuos y eficiencia energética
Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022	Ley 1955 de 2019	Nacional, metas y estrategias orientadas por la Política de Crecimiento Verde en materia de residuos sólidos y disposición final, así como en gestión del cambio climático y eficiencia energética
Estrategia Institucional para la articulación de Políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia + Política Nacional de Cambio Climático	Documento CONPES 3700 de 2011 + Decreto 298 de 2016	Nacional, sectorial y territorial, en la temática de mitigación del cambio climático a través de la reducción de GEI para contribuir a la NDC

Fuente: Elaboración propia de la consultoría

Tabla 8. Análisis preliminar de articulación de la propuesta con las políticas públicas sectoriales y territoriales relacionadas

Instrumento de Política Pública	*Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4	Objetivo 5	Objetivo 6	Objetivo 7
<i>PNCC</i>		x	x	x	x		
<i>PNCCSCC</i>	x		x	x	x	x	
<i>PGAU</i>		x	x	x	x		
<i>PNGRD</i>		x	x		x		
<i>PGOT</i>	x	x	x	x	x		
<i>PNGIRH</i>	x		x	x	x		
<i>PNGIAS</i>	x	x	x	x	x		x
<i>PNGIBSE</i>	x	x			x	x	

* Generalizado a objetivo, pero en algunos instrumentos son ejes, en otros son líneas estratégicas o de acción, en otros son dimensiones.

Fuente: Elaboración propia de la Consultoría

6.2 Marco regulatorio a nivel sectorial

La planificación y marco de política definidos desde las últimas décadas del siglo XX en Colombia en materia de gestión de residuos se vio reflejado en instrumentos normativos del nivel técnico operativo tales como el Decreto 2014 de 1983 del Ministerio de Salud, mediante el cual se reglamentaron los Códigos en materia de residuos sólidos, se definió terminología técnica y se incluyeron normas sanitarias aplicables a almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, entre otros; luego de eso, en el año 2000 la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento (CRA) definió en el título F del Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico (RAS) un marco de acción en materia de residuos sólidos y sistemas de aseo urbanos para Colombia; de igual forma se desarrollaron instrumentos en esta misma línea como la Ley 689 de 2001 a través de la cual se creó el Sistema Único de Información - SUI- y se otorgó el rol administrador a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios de Colombia -SSPD-; el decreto 1713 de 2002 del MAVDT (a través del cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en materia de aseo) y sus modificatorios, incluidos el decreto 2981 de 2013 por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo para Colombia (ahora integrado en el decreto único de MVCT 1077 de 2015) y la resolución de MVCT 0754 de 2014 sobre la metodología para la planificación de la GIRS en Colombia.

En reglamentación del Decreto 1713 de 2002 y con el objetivo de llevar a cabo una eliminación de sitios inadecuados y no autorizados desde la norma ambiental para la disposición final de residuos, se expidieron las resoluciones 1390 de 2005 que definió un primer plazo de tres años para su cierre, la Resolución 1684 de 2008, la Resolución 1822 de 2009 y la Resolución 1529 de 2010, las cuales alargaron el período de transición y/o cierre de sitios inadecuados.

Por su parte, la actividad específica de disposición final de residuos sólidos se rige de conformidad con lo establecido en la Resolución 1890 de 2011, el Decreto 1077 de 2015, el Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 330 de 2017. Adicionalmente, los sistemas de disposición final considerados adecuados por la Autoridad Ambiental Competente se rigen por los decretos 2820 de 2010 y 2041 de 2014 en temas de licencias ambientales.

La Resolución 1890 de 2011 dio fin a las transiciones y estableció alternativas de disposición final acogidas por los municipios y aprobadas por la autoridad ambiental. Se establecieron cuatro alternativas: Celdas en etapa de cierre y clausura, transformación de celdas transitorias en rellenos sanitarios, transformación de celdas transitorias en celdas de contingencia y rellenos sanitarios en áreas adyacentes a sitios donde operaron celdas transitorias cerradas y saneadas ambientalmente.

Así mismo, en el Decreto 1784 de 2017 se expidió la reglamentación que promueve el uso de tecnologías complementarias y alternativas a rellenos sanitarios, así como la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases y su reconocimiento dentro de las tarifas del servicio público de aseo, buscando incentivar el tratamiento de residuos con las mejores técnicas disponibles en el mercado. Este Decreto facultó a los operadores y prestadores del servicio de aseo, el cobro vía tarifa de la actividad de tratamiento e implementación de alternativas de la disposición final.

En el tema de facturación propiamente la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento desarrolló la resolución CRA 720 de 2015 a través de la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, así como la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo. El capítulo VI hace referencia a los costos de disposición final, a la provisión de recursos para las etapas de clausura y posclausura, así como los costos de alternativas a la disposición final y los costos del tratamiento de lixiviados. Además de la exigencia de estas provisiones de costos, se exige como indicador de calidad mensual el cumplimiento de las densidades de compactación de diseño.

Otro instrumento jurídico, de regulación en la legislación colombiana asociado a la disposición final de residuos, es la Resolución 0154 de 2014 sobre Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias en la prestación de los servicios públicos incluido Aseo.

Haciendo énfasis en temas de ordenamiento territorial, en cuanto a derechos y restricciones para este tipo de uso del suelo, encontramos en la Ley 388 de 1997 en el artículo 10° sobre las determinantes ambientales para la planificación del ordenamiento territorial, en el numeral 3 se aclara que es necesario, para la administración pública de la entidad territorial del orden municipal o distrital, el señalamiento y la localización de las infraestructuras básicas relativas a sistemas de saneamiento y suministro de energía, entre otros. De igual forma en el párrafo 1° del artículo 113° sobre actuaciones urbanas integrales, entendidas como programas y proyectos derivados de las políticas y estrategias del POT, se aclara lo que “se entiende como componentes de la acción sectorial del municipio o distrito, las decisiones administrativas, los programas o proyectos atinentes a la regulación de los usos del suelo y a su incorporación al desarrollo urbano, al saneamiento básico y el manejo ambiental, entre otros”.

Por su parte, la Ley 1454 de 2011, ley orgánica de ordenamiento territorial -LOOT-, en su artículo 29° hace referencia a la distribución de competencias en materia de ordenamiento del territorio, diferenciando entre aquellas correspondientes a La Nación y las que corresponden a las entidades territoriales, por ejemplo, corresponde al gobierno nacional definir los lineamientos y criterios para la localización de grandes proyectos de infraestructura así como garantizar la distribución equitativa

de los servicios públicos e infraestructura social de forma equilibrada en las regiones; así mismo, corresponde al gobierno departamental orientar la localización de la infraestructura física-social de manera que se aprovechen las ventajas competitivas regionales y se promueva la equidad en el desarrollo de los municipios; por su parte, a los gobiernos locales les corresponde formular y adoptar los planes de ordenamiento territorial, reglamentar los usos del suelo de manera específica de acuerdo con las leyes, en suelo urbano, rural y de expansión, así como optimizar los usos del suelo disponibles y coordinar los planes sectoriales, como el caso concreto del PGIRS, en armonía con la jerarquía de planificación e instrumentos de política desde lo nacional hasta lo metropolitano, dado el caso. De igual forma, en el artículo 3° sobre los principios rectores del OT, se enfatiza en la regionalización para promover la equidad y el cierre de brechas entre los territorios promoviendo el establecimiento de regiones de planeación y gestión clasificadas en regiones administrativas y de planificación (RAP) y regiones como entidades territoriales (RET) como marco relacional en todas las dimensiones del desarrollo a partir de los ecosistemas y las EEP, las identidades locales que impregnan el modelo de ocupación propio del territorio, los equipamientos y las infraestructuras, como es el caso.

Sobre la zonificación de manejo especial para la gestión integral de residuos sólidos, los municipios y distritos tienen la potestad de definir zonas aptas para dicha gestión en sus instrumentos de planificación en clasificación de suelo rural. Por ejemplo, el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pereira vigente reglamentado mediante los acuerdos 018 de 2000, 023 de 2006 y 035 de 2016 del concejo municipal, ha definido una Zona de Manejo Especial -ZME- para las actividades concernientes a la disposición final y tratamiento de residuos sólidos en el marco del proceso de gestión integral, en el artículo 245° del acuerdo 035 de 2016 se mencionan los criterios para la localización de la infraestructura en articulación entre el PGIRS y el POT y en su artículo 494° se referencia la definición de usos permitidos para el manejo de residuos sólidos en la zona rural, en el numeral 3 de este artículo se destacan los usos permitidos frente al tratamiento de residuos en la zona rural en el que se resalta que “se permite la deshidratación y estabilización, con fines de aprovechamiento, de lodos residuales provenientes de sistemas de tratamiento biológico, que no contengan residuos peligrosos, en la Zona de Manejo Especial (ZME) en los predios contiguos al relleno sanitario, en una extensión de 9,37 Ha”.

Con respecto a la gestión del cambio climático particularmente, con la Ley 164 de 1994 en Colombia se acataron las directrices de la CMNUCC en materia de causas y efectos de la problemática climática global, mediante la Ley 629 de 2000 se reglamentaron los pactos del protocolo de Kioto. No obstante, sólo hasta el desarrollo del documento CONPES 3700 de 2011 se formuló por primera vez en Colombia la Estrategia Institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático y se definieron cuatro estrategias de gestión, una de ellas ha sido la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono -EDCBC.

Finalmente, a través del Decreto 298 de 2016 se reglamentó el Sistema Nacional de Cambio Climático -SISCLIMA- y por medio de la Ley 1931 de 2018 se consolidó el marco normativo nacional para la planificación sectorial y territorial de los procesos centrales de adaptación y mitigación del cambio climático, materializado para este caso a través del proceso desarrollado en los últimos años de formulación del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial (PIGCCS) para Vivienda, Agua y Saneamiento, y su adopción en marzo de 2020, en el cual se incorporan medidas de adaptación al cambio climático (CC) y de mitigación de GEI en el sector, y específicamente la línea estratégica de gestión integral de los residuos sólidos, se enfatiza en *medidas relacionadas con actividades complementarias a la disposición final, entre las cuales se encuentran la gestión y promoción de sistemas de tratamiento mecánico biológico, aprovechamiento de materiales reciclables, sistemas de*

captación, conducción y quema de biogás en rellenos sanitarios Sistemas y su posterior aprovechamiento como energía eléctrica.

En cuanto a eficiencia energética, con la Ley 697 de 2001 se facultó al Estado colombiano como garante del Uso Racional y Eficiente de Energía. Luego, con el Decreto Reglamentario 6383 de 2003, se dio promoción a fuentes no convencionales de energía para el desarrollo sostenible, con el Decreto 381 de 2012 se otorgó al Ministerio de Minas y Energía la potestad de desarrollar la Política de Uso Racional de Energía y la promoción de fuentes alternas y del desarrollo de los programas de unos racional y eficiente de energía. **Luego, con la expedición de la Ley 1715 de 2014 se facultó al Ministerio de Minas y Energía como Ente encargado de propender por un desarrollo bajo en carbono a partir de la eficiencia energética y entendido como actor clave en el SISCLIMA. En este mismo orden, con la Resolución MME 91304 de 2014, se definió el factor marginal de emisiones de GEI del sistema interconectado nacional, para estimación de su reducción en proyectos aplicables a MDL.**

La resolución 0431 de 2020, reglamentó la adopción del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial -PIGCCS-, del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, otorgándole un ámbito de aplicación a las personas prestadoras del servicio público de acueducto, alcantarillado y aseo con APS en zona urbana y rural, a las entidades territoriales del orden municipal, distrital y áreas metropolitanas con competencia en temas de desarrollo urbano, ordenamiento territorial y gestión del riesgo de desastres, al sector privado como diseñadores, constructores y proveedores y a quienes se identifiquen con las medidas contempladas en el PGICCS. También definió el objetivo del instrumento que es “Reducir la vulnerabilidad de los sectores vivienda, ciudad y territorio y agua potable y saneamiento básico, ante los efectos del cambio climático y contribuir al desarrollo bajo en carbono a través de la formulación e implementación de medidas a nivel territorial y diferencial que promuevan territorios, ciudades, viviendas y comunidades más resilientes y sostenibles.” (MVCT, 2020).

Adicionalmente, vale la pena tener en cuenta que, con el ingreso de Colombia a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se recomienda como uno de los asuntos prioritarios del país el desarrollo de incentivos que fomenten el manejo adecuado de los residuos y fortalezcan la inversión en infraestructura y en complemento recomienda que: “todas las actividades de manejo de residuos sólidos internalicen los costos ambientales y de salud humana en los costos financieros de la gestión de residuos (...)”.

No obstante, aún no se han incorporado de manera directa los costos ambientales y el comportamiento de los mercados que permitan generar incentivos a la implementación de estas acciones. Esta situación se ha convertido en una barrera para que los proyectos de aprovechamiento que se han iniciado en diferentes sitios del país tengan continuidad, pues los operadores manifiestan dificultades de tipo financiero que no permiten garantizar su implementación. (Visitas técnicas 2018 Potenciales de mitigación de GEI. MVCT).

Tabla 9. Regulación a nivel territorial

Normativa	Temática	Contenido
Ley 1931 de 2018	Planes integrales de gestión del cambio climático sectoriales - PIGCCS-	Planificación de acciones y medidas de mitigación del cambio climático en el subsector residuos en el marco del PIGCCS para Vivienda, agua y saneamiento.
Ley 1715 de 2014	Eficiencia Energética	Promoción de fuentes no convencionales de energía renovable.
Ley 142 de 1994	Servicios Públicos Domiciliarios	Prestación del servicio de aseo, actividades que realizan las personas prestadoras de servicios públicos, intervención del Estado en la prestación de los servicios públicos, competencias de los municipios, departamentos y la Nación.
Decreto 2041 de 2014	Licencias Ambientales	Las autoridades ambientales del ámbito territorial otorgarán o negarán licencia ambiental para la construcción y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos.
Decreto 1077 de 2015 (que compila el Decreto 2981 de 2013)	Prestación del servicio Público de aseo	Este decreto a pesar de su contenido específico del servicio de aseo, no aplica a la actividad disposición final pero se relaciona directamente con las otras actividades de recolección, transporte, transferencia de residuos.
Decreto 1784 de 2017	Actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo	Promoción del uso de tecnologías complementarias y alternativas a rellenos sanitarios, así como la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases y su reconocimiento dentro de las tarifas del servicio público de aseo.
Resolución 0431 de 2020	PIGCCS Vivienda, Agua y Saneamiento	Adopción del Plan Integral de gestión del cambio climático para el sector vivienda, agua y saneamiento
Resolución 0330 de 2017	Reglamento técnico RAS	Adopción de la nueva generación del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Resolución 1890 de 2011	Alternativas para disposición final de residuos sólidos	Dio fin a las transiciones y estableció alternativas de disposición final acogidas por los municipios y aprobadas por la autoridad ambiental. Se establecieron cuatro alternativas de SDF.
Decreto 2412 de 2018,	Incentivos de aprovechamiento y tratamiento de residuos,	Se creó el incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos IAT y la estructura de gobierno y gestión mediante la administración del comité del IAT.

Fuente: Elaboración propia de la consultoría

7 Tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de Residuos Sólidos Municipales

Con el propósito de cumplir con los objetivos de la NAMA de RSM, de aumentar el aprovechamiento y valorización de los residuos, reincorporar al ciclo productivo la mayor cantidad de residuos, incrementar la vida útil de los rellenos e incluso propender por su sustitución con tecnologías de aprovechamiento que mitiguen la emisión de GEI y minimicen el impacto ambiental y de salud que tienen los sitios de disposición final actuales se definirán las tecnologías, su combinación y se establecerá unas tipologías que tengan en cuenta la situación particular de cada sitio de disposición final.

Las acciones de mitigación de GEI estarán diseñadas con base en la implementación de las siguientes tecnologías: Reducción de gases en vertederos (RGV), Tratamiento Mecánico Biológico (TMB), Combustibles Derivados de Residuos (CDR ó RDF por sus siglas en inglés) y Aprovechamiento energético de los residuos (WtE por sus siglas en inglés). Es importante precisar que las tecnologías son complementarias entre sí y pueden ser combinadas para obtener un mejor resultado final. Así, la tecnología de RGV es insustituible para el tratamiento y aprovechamiento de los gases generados por los residuos sólidos municipales ya dispuestos; mientras que las otras tres tecnologías son apropiadas para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos que se están generando y aún no han sido dispuestos, que precisamente, para obtener una mayor mitigación en la generación de GEI, no deben ser dispuestos sin un tratamiento previo y debemos aprovecharlos en la generación de nuevos productos que podamos incluir en una economía sostenible y amigable con el medio ambiente.

Cada una de estas tecnologías, tiene sus características propias que las hacen técnicamente ideales para situaciones específicas en cuanto al material que van a tratar. En general, podemos decir que el tratamiento mecánico (TM) sustituye la separación en la fuente de los residuos o complementa y optimiza la separación de material potencialmente reciclable en las estaciones que el modelo de aseo ha definido como Estaciones de Clasificación y Separación de material reciclable (ECAS). También se constituye en una unidad esencial para clasificar y separar material de origen vegetal que se utilizará posteriormente como alimentación de biodigestores anaerobios y producir “biodigestato” y biogás, utilizable este último, como combustible directo, previo tratamiento de limpieza, para generar energía eléctrica para sustituir el combustible de una flota de vehículos a gas o la producción de hidrógeno.

Por su parte a diferencia de la anterior y dado su bajo coste, para residuos de origen vegetal, separados en fuente – residuos de corte de césped y poda de árboles, junto con residuos de plazas de mercado e incluso residuo doméstico ‘orgánico’ - es ideal el tratamiento biológico tipo aerobio o Compost.

También, se tiene la tecnología de RDF o plantas que separan mecánicamente el residuo seco del de origen vegetal, recuperando un porcentaje de material reciclable y generando combustible sólido (briquetas, pelets o simplemente pacas) con el material seco no comercializable como material reciclado. Material que sirve de insumo a plantas cementeras, en un proceso llamado coprocesamiento y a las plantas WtE para generación de energía eléctrica.

Finalmente, los residuos que no han podido ser reciclados, que tampoco han ido a la línea biológica aerobia o anaerobia, que, por el contrario, son rechazos de dichas plantas, son un combustible limpio que puede producir directamente energía eléctrica en centrales termoeléctricas, sustituyendo los combustibles fósiles por este tipo de residuo, generando kWh y recuperando un porcentaje de materiales ferrosos y no ferrosos en una planta WtE. Podríamos afirmar con certeza que sería el aprovechamiento ideal para los residuos que se incluyen en la bolsa negra de acuerdo con la resolución 2184 de 2019.

Aunque todos estos procesos tecnológicos buscan reducir los residuos que llegan a los sitios de disposición final, sustituir materiales en la industria y ayudar a la conservación de los recursos naturales; se debe tener en cuenta que los tratamientos deben obedecer a una serie de estrategias articuladas que busquen la gestión integral de los residuos, es decir, que deberán estar acompañados de estrategias de reducción en la generación de residuos, reutilización de materiales y significativos procesos de reciclaje, avanzando así en la implementación del concepto de la economía circular en el país. De hecho, en Colombia, las primeras iniciativas directamente relacionadas con la economía circular surgen en el año 1997 con la Política de gestión integral de residuos, y es con el CONPES 3874 *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*, que se introduce el concepto de manera oficial en el país para avanzar en el cierre de ciclos.

Aunque existen diferentes perspectivas sobre qué es la economía circular y no existe una definición unificada, la Estrategia nacional de economía circular utiliza la definición basada en la propuesta por la Fundación Ellen MacArthur como su punto de partida. Esta definición es utilizada en iniciativas similares en otros países y es reconocida en el ámbito académico a nivel global. Para efectos de esta estrategia, la economía circular es entendida como:

“Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible.” (Ellen MacArthur Foundation, 2014)

El principal aporte diferenciador del concepto de economía circular es su carácter sistémico y holístico; se enfoca en optimizar los sistemas teniendo en cuenta todos sus componentes. La definición pretende un sistema productivo que se auto-restaura y auto-genera por su diseño interconectado e inteligente, tal como ocurre en la naturaleza donde residuos de un organismo son la materia prima de otro, y donde existen relaciones simbióticas entre especies, como por ejemplo el ciclo del carbono o del nitrógeno.

Las 4 tecnologías incluidas en la NAMA de RSM se describen en detalle a continuación. La Figura 3 presenta los procesos asociados a las tecnologías y su posible combinación, y en la Tabla 10, se presenta un resumen explicativo de las 4 tecnologías incluidas en la NAMA de RSM y dos adicionales que se considera apropiado evaluar para cubrir las acciones de mitigación de GEI que generan los rellenos sanitarios en Colombia.

Tabla 10. Características de las tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de RSM.

Tecnología	Tipo de residuo procesado	Productos	Rechazos	Propósito	Mercado	Uso más común	Emisión de GEI	Observación
RGV	RSM dispuesto	Combustible gaseoso: Biogás tratado hasta biometano/energía kWh	Gases a través de la antorcha de quema o los exostos de las plantas de aprovechamiento	Reducir las emisiones de GEI Mejorar Seguridad del RS; aprovechar energéticamente el biogás captado	1. Certs 2. Combustible gaseoso. 3. Energía kWh	Es la única tecnología dedicada a la reducción de emisiones de GEI y/o aprovechamiento del biogás captado, causada por la disposición de RSM en los rellenos sanitarios.	1. Tiene emisiones directas, generadas bien sea en la etapa de quema o en la etapa de aprovechamiento o en ambas 2. Posee reducciones de emisiones indirectas, en la etapa aprovechamiento porque produce su propia energía 3. Evita emisiones de gases más ofensivos (CH4) y sustituye los combustibles fósiles necesarios para obtener la misma energía que genera de superavit.	La tecnología contempla tres etapas: 1. Recolección de biogás con quema RGV+ Q 2. Aprovechamiento energético del biogás captado RGVQ+AE 3. Optimización de sistemas de aprovechamiento ya existentes OAE. Se recomienda las tres etapas de acuerdo con el estado de cada uno de los RS
TMB	RSM fresco mezclado (Bolsa Negra)	Fracción de Material Potencialmente Reciclable MPR y Bioestabilizado	Bioestabilizado	Optimizar la operación del RS	1. EL mismo RS para disponer la fracción bioestabilizada 2. Materiales reciclables recuperados	La utilización más frecuente es en países desarrollados, para mejorar las condiciones de operación de los rellenos sanitarios. Actualmente, se ha reducido su implementación, por sus costos y por nuevas políticas de sustitución de RS por tecnologías combinadas de WtE, reciclaje y compostaje	1. Genera emisiones directas, en la etapa de bioestabilización 2. Genera emisiones indirectas, por consumo de energía y combustible en su proceso de tratamiento 3. No tiene emisiones evitadas significativas, las emisiones evitadas en la segunda etapa las genera en la primera. Las emisiones evitadas más significativas se deben al material reciclable que recupera.	Es un tratamiento que sube los costos de disposición final, sin un beneficio significativo en cuanto a mitigación de GEI o aprovechamiento de residuos. No se recomienda

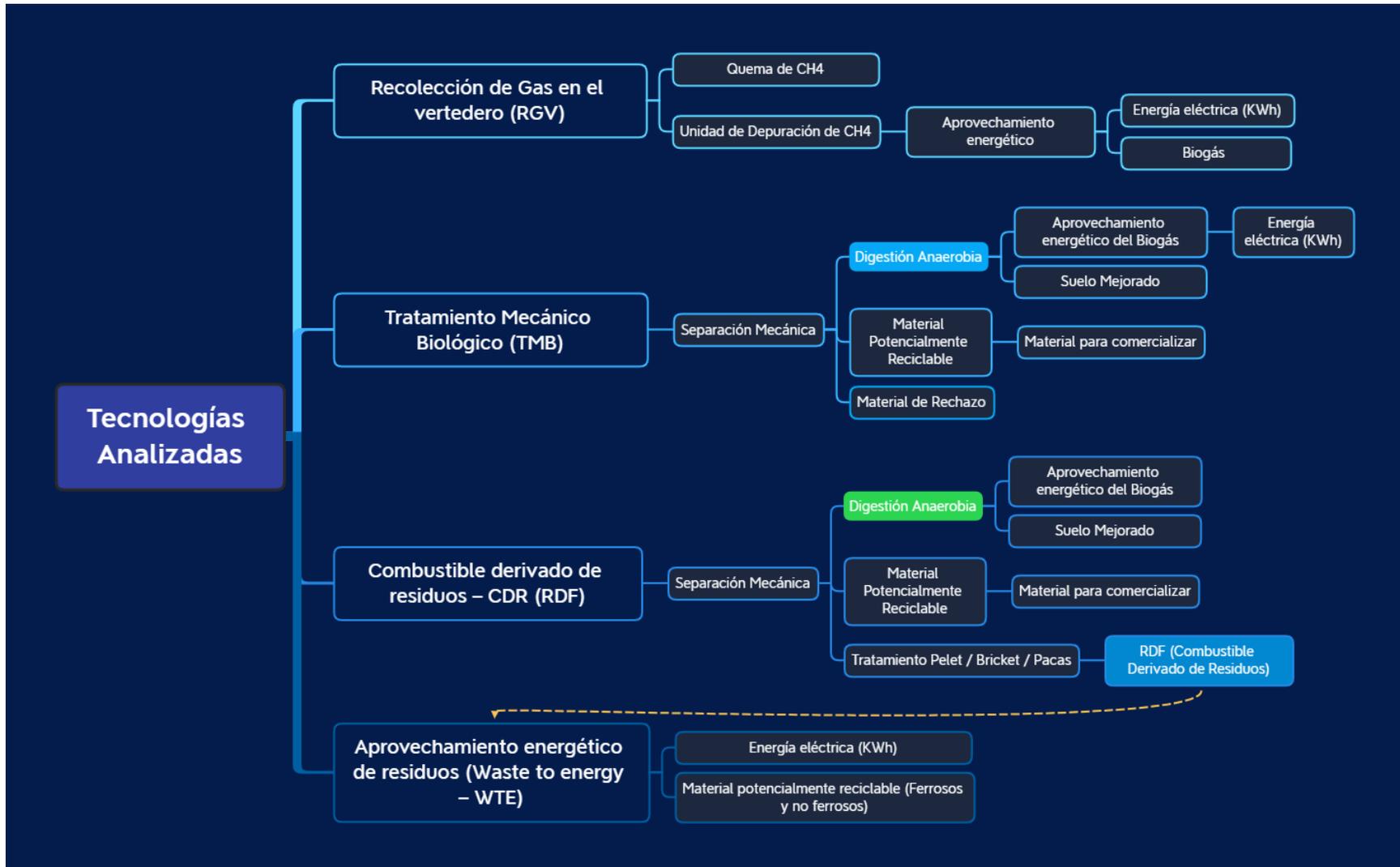
Tecnología	Tipo de residuo procesado	Productos	Rechazos	Propósito	Mercado	Uso más común	Emisión de GEI	Observación
RDF	MPR seco mezclado (Bolsa Blanca)	Combustible sólido (pacas, briquetas, peletizado...)	Material no recuperable	Generar combustible sólido a partir de RSM	1. Combustible para Plantas WtE incineración 2. Combustible para Plantas cementeras. 3. Combustible para calderas Sector Industrial.	Se utiliza en países desarrollados europeos para los residuos del contenedor llamado "resto", que contiene los residuos reciclables más separados en fuente. En nuestro país sería ideal para tecnificar las ECAS	1. No tiene emisiones directas en el proceso de tratamiento de RSM. 2. Genera emisiones indirectas asociadas al consumo de energía y combustible en la planta de tratamiento 3. Realiza una reducción de emisiones, por sustitución de combustibles fósiles con combustibles "limpios" que coloca en el mercado.	Habría que desarrollar estos mercados en el país. No se recomienda para Colombia aún, demoraría más tiempo su implementación, por la necesidad de actualizar la legislación vigente de RSM para su operación y aprovechamiento.
WtE incinerac.	RSM fresco mezclado (Bolsa Negra)	Energía kWh, material metálico recuperado y escorias	Cenizas, escorias, gases	Generar energía, kWh	1. Eléctrico 2. Térmico - calentamiento de agua para procesos industriales; calefacción en países con estaciones. 3. Mercado de material reciclado recuperado	Se utiliza en todo el mundo como la tecnología más confiable para tratar elevadas cantidades de RSM y sustituir los rellenos sanitarios con el fin de mitigar sus impactos ambientales. Además, como fuente alterna de generación de energía	1. Tiene emisiones directas en el proceso de combustión. 2. No genera emisiones indirectas por que genera la energía necesaria para su operación y los consumos de combustible no son significativos en operación normal 3. Hace una reducción significativa de emisiones por sustitución de combustibles fósiles en la generación de energía que produce.	La tecnología WtE en concepto ampliado, cubre 3 tratamientos: Pirólisis, gasificación e incineración. Siendo las dos primeras limitadas a una fracción del RSM, por lo que requieren una unidad previa de separación y están probadas en unidades de pequeñas cantidades de residuos comparadas con la incineración. Debido a lo anterior se ha generalizado el uso del término WtE para referirse al proceso de incineración. Se recomienda para RSM por su tiempo de tratamiento (horas), su madurez (más de 2000 plantas en el mundo en operación), su avance y logros en la acción de mitigación de GEI y el doble beneficio con las políticas nacionales respecto a mitigación de GEI y diversificación de la red

Tecnología	Tipo de residuo procesado	Productos	Rechazos	Propósito	Mercado	Uso más común	Emisión de GEI	Observación
								matriz de generación eléctrica con fuentes alternas de energía.
Biodigestor	RS de origen vegetal separado (Bolsa Verde)	Combustible gaseoso Biometano	Biodigestato (total o fracción) va a sitio de disposición final	Generar combustible gaseoso: biometano y en segunda etapa generar energía, kWh	1. Combustibles gaseosos, biometano 2. Energía, kWh	Se utiliza normalmente con residuos de granjas agrícolas o pecuarias, no con RSM	1. Tiene emisiones directas. 2. En la primera etapa (sólo producción de biometano) genera emisiones asociadas al consumo de energía y combustibles en la planta. En la segunda etapa, genera su propia energía, eliminando las emisiones indirectas. 3. Logra una reducción de emisiones bien sea por sustitución de combustibles (biometano) colocado en el mercado o por sustitución de combustibles fósiles en la generación de la electricidad que comercializa.	La tecnología contempla 2 etapas: 1. Producción de combustible gaseoso o biometano. 2. A partir del biometano producción de energía eléctrica previo montaje infraestructura para generación eléctrica. No es recomendable para RSM por su costo, tiempo de procesamiento (meses), área requerida.
Compost	RS de origen vegetal separado (Bolsa Verde)	Compost, abono orgánico	Bioestabilizado va al relleno sanitario	Generar abono orgánico: compost	1. Abonos orgánicos y fertilizantes	Se utiliza para la fracción de origen vegetal de los RSM, separados en fuente y con ruta selectiva de recolección	1. Tiene emisiones directas. 2. Tiene emisiones asociadas al consumo de energía y combustible que necesita para el procesamiento de los residuos. 3. Logra una reducción de emisiones por sustitución de la huella producida por el abono químico que sustituye en el mercado	La tecnología contempla dos etapas: 1. Separación mecánica o en fuente de residuos de origen vegetal y Compost propiamente dicho TM+ BC 2. Optimización de sistemas existentes en etapa 1. TM+ OBC Se recomiendan las dos etapas para la fracción vegetal de los RSM debidamente separada. Por su bajo costo y mitigación evitada de GEI

Nota: Se usan los términos de emisión directa, indirecta y evitada con el siguiente significado: Emisión directa, aquella generada en el propio tratamiento. Emisión indirecta, la que está asociada al consumo de energía eléctrica procedente de la red de distribución y a la producción y distribución de combustibles consumidos en el tratamiento. Emisión evitada aquella que resulta de los productos obtenidos en cada tratamiento que pueden reemplazar otros productos del mercado o materias primas para su producción, es el caso de las plantas WtE que producen energía “evitando” las emisiones procedentes de la generación eléctrica por fuentes fósiles, o las emisiones evitadas por el uso del compost sustituyendo a los abonos inorgánicos. Lo anterior según: Huella de carbono de los tratamientos de gestión de residuos municipales comparación entre distintos escenarios de gestión. CONAMA 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Procesos asociados a las tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de RSM.



Fuente: Elaboración propia Anthesis Lavola 2020

7.1 Recolección y aprovechamiento de gas en vertederos (RGV)

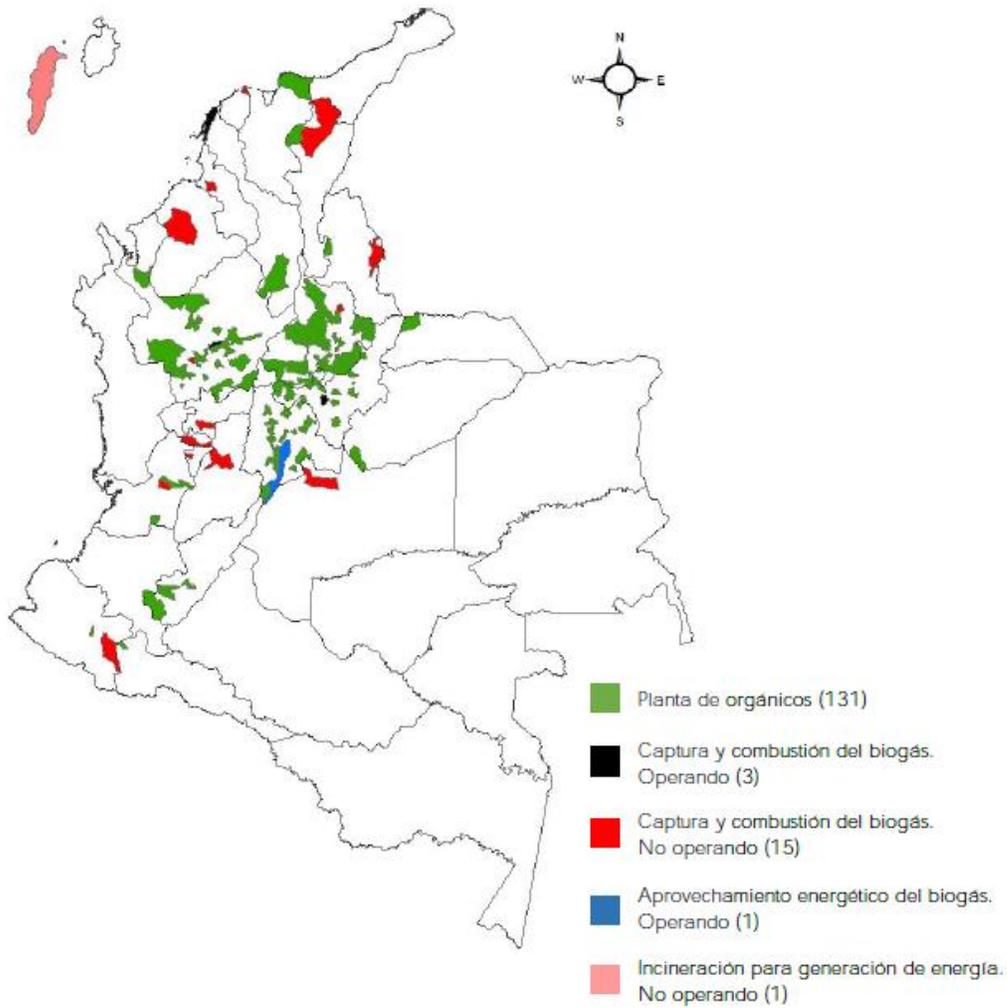
Si bien, la normatividad nacional promueve la legalidad en los sitios de disposición final, y ha orientado a que la mayoría sean rellenos sanitarios, con recolección y quema de gases, aún quedan sitios con disposición de residuos no legales y rellenos sin la captación de gases como lo establece el decreto 1784 de noviembre de 2017. En particular en la tabla No 22 “Acciones de tratamiento realizadas actualmente por cada sitio de disposición de residuos” se visualiza el estado de los 22 sitios seleccionados por la NAMA de RSM para llevar a cabo acciones de mitigación de gases efecto invernadero.

Como podemos observar, de acuerdo a la información recopilada, el 13,64% de los sitios de disposición final tienen un sistema de recolección, quema y aprovechamiento de biogás – RS Doña Juana, Parque ambiental los Pocitos, y Parque ambiental loma de los cocos -; 77.27% de los sitios cuentan con sistemas de captación y quema de gases incluido el RS El Reciclante, que además tiene sistema de tratamiento mecánico Biológico y 9,09% no cuentan siquiera con sistema de captación de gases-Los Picachos y El Clavo-.

Teniendo en cuenta que las fuentes de reducción de GEI se deben tanto a la captura y combustión (quema) del metano CH₄ contenido en el biogás, como al reemplazo de combustibles fósiles que deberían utilizarse para generar la misma cantidad de energía eléctrica que se generará a partir del biogás, las acciones de mitigación de GEI, que se convierten en propuesta en este estudio son: **Implementar la recolección, quema y aprovechamiento de GEI en los sitios que no la tienen, implementar la fase de aprovechamiento en los sitios que sólo tienen captación y quema, y optimizar y potencializar los sistemas que ya cuentan con las tres fases, recolección, quema y aprovechamiento.**

Es necesario precisar que, según CONPES 3874 de 21 de noviembre de 2016, debido a la no rentabilidad en la explotación de la quema del biogás, por el bajo precio de los CERTS, algunos sitios no están operando, por lo cual, se hace necesario exigir el cumplimiento de la normatividad vigente y ponerlos en marcha, bajo las nuevas condiciones de mercado que se establezcan en el marco de la implementación del Acuerdo de Paris y la Contribución Nacionalmente Determinada de Colombia.

Figura 4. Infraestructura de tratamiento y aprovechamiento de residuos en el país



Fuente: DNP con base en información del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Recolección de gas en relleno sanitario

Con el fin de mantener seguro el funcionamiento de los rellenos sanitarios, se debe realizar en todos los casos extracción del gas que se genera en el proceso de descomposición de los residuos dispuestos. Este proceso consiste en captar el gas mediante sistemas de drenaje, bien sea de manera activa o pasiva, involucrando cuatro componentes: contención, captación de gases, conducción y control y quema o aprovechamiento¹.

- **Contención:** evita escapes laterales o pérdidas superficiales del biogás a través de barreras.
- **Captación de gases:** red de zanjas horizontales y/o pozos verticales, distribuidos por toda la superficie del relleno sanitario e incluso alrededor de éste, previos análisis de campo para identificar las zonas de influencia de cada punto de captación. (Activa o pasiva)
- **Conducción y control:** Una vez captado el gas se traslada desde la superficie de los pozos hasta los colectores, usando tuberías de polietileno o PE, en este tramo se colocan los mecanismos de control y medición de caudales (válvulas)
- **Quema o aprovechamiento:** El gas generado en un relleno, puede someterse a tres tipos de proceso: Captación y quema; captación y aprovechamiento; y una combinación de los dos anteriores, es decir captación, quema parcial y aprovechamiento del resto.

Tabla 11. Opciones de manejo del biogás

Captura y quema	Captura y aprovechamiento
<p>Quema directa en antorcha abierta</p> <p>Quema directa en antorcha cerrada</p>	<p>Es necesario realizar actividades de limpieza y enriquecimiento, no contempladas en la captura y quema del biogás</p>
<p>Debe observarse la normatividad en relación con emisiones máximas permitidas</p>	<p>Se utiliza como combustibles o generador de energía para uso dentro del relleno</p> <p>Para abastecer calentadores de agua, hornos, secadores de agregados y/o generadores de electricidad convencionales en instituciones o comercios localizados junto al relleno</p> <p>Gasoductos o gas natural vehicular</p> <p>Como combustible para generadores de combustión interna y turbinas para la generación de energía para después ser suministrada a la red</p>

Fuente: elaboración propia

Es importante, tener en cuenta los Mecanismos de Desarrollo Limpio -MDL- del Protocolo de Kioto (PK), mediante el cual, *“los países industrializados pueden financiar proyectos que tienen como*

¹ Título estructurado con base en el decreto 1784 de 2017, (no obstante, se complementó con los desarrollos de la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento en cuanto a sistemas de extracción y captura para el manejo de gases en rellenos sanitarios).

objetivo reducir las emisiones de gases efecto invernadero en países en desarrollo y recibir a cambio Reducciones Certificadas de Emisiones (CER por sus siglas en inglés).”

De acuerdo con el MADS, dichos CER se definen de la siguiente forma: *“Las Reducciones Certificadas de las Emisiones (Certified Emission Reductions – CER por sus siglas en inglés) generadas por tales proyectos pueden ser utilizadas por los países industrializados para cumplir con su cuota de reducción de emisiones”*. En los países en vía de desarrollo, como Colombia, en los cuales se implementan estos proyectos se genera un beneficio directo en la contribución al desarrollo sostenible del país.

Desafortunadamente, en la última década el precio de los CER cayó en un porcentaje tan alto que los proyectos que habían sido implementados detuvieron su operación por falta de cierre financiero, y en el caso colombiano específicamente, la infraestructura pasó a ser utilizada en otras actividades o incluso clausurada.

El decreto 1784 de 2017 Artículo 2.3.2.3.11. Requisitos mínimos para el diseño de nuevos rellenos sanitarios o ampliación de existentes, estableció la obligatoriedad de incluir un documento técnico de estudios y diseños que debe contener como mínimo, entre otros: Diseño de llenado –manejo y el tipo de tratamiento de lixiviado **y de gases-**. *“Cálculos de dren de evacuación de gases: Una vez dimensionada la celda, se deber definir número, diámetro y distancia entre chimeneas que permita la recolección y evacuación del gas. La captura y quema tecnificada deberá realizarse en todas las categorías de relleno establecidas.”* (Hay que aclarar que lo señalado por el decreto se refiere a celdas o rellenos sanitarios nuevos, no a las infraestructuras ya existentes).

Además, estableció, el mencionado decreto, artículo 2.3.2.320 que la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA deberá incentivar el desarrollo de la actividad complementaria de tratamiento y en el artículo 2.3.2.3.21 Aprovechamiento de Biogás. *“La viabilidad del aprovechamiento de biogás para valorización energética dependerá de los estudios de viabilidad técnica, económica y la relación beneficio costo. En todo caso la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico -CRA- podrá realizar las evaluaciones que correspondan para establecer la viabilidad de este tipo de proyectos.”* Lo que implica su posible reconocimiento dentro de las tarifas de servicio público de aseo, lo cual favorece significativamente la implementación de esta tecnología para la mitigación de GEI contempladas dentro del objetivo de la NAMA de RSM.

Aprovechamiento energético del biogás

La recolección de biogás en los rellenos sanitarios se reconoce como una de las técnicas utilizadas para la generación de energía a partir de residuos.

El biogás es un gas combustible, generado por las reacciones químicas y biológicas generadas en la biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, mediante la acción de microorganismos y otros factores; debido a esto, se han desarrollado diferentes tecnologías disponibles que buscan la generación de electricidad a partir de este gas procedente de la descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios y demás sitios de disposición final.

El biogás puede utilizarse como combustible por contar con un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 MJ/m³; Se debe tener en cuenta que el biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 °C a comparación con el Diesel (350 °C), la

gasolina y el gas propano (cerca de los 500 °C). El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diésel, y debido a que el CH₄ en concentraciones superiores a un 15% es inflamable, según lo afirma la CRA en su documento de Análisis de Impacto Normativo para el Reconocimiento de la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases en rellenos sanitarios dentro de las tarifas del servicio público de aseo (2019).

El biogás se utiliza para producir energía eléctrica o calor que son utilizados en diferentes procesos industriales, dentro o fuera de los rellenos sanitarios.

Ahora bien, existen factores externos que pueden condicionar la producción (rendimiento) de biogás en un relleno, de acuerdo con López Arriaza², estos factores pueden resumirse en:

- Composición de los residuos (Porcentaje de residuos orgánicos)
- Densidad de los residuos y tamaño de las partículas (Transporte de nutrientes y humedad)
- Temperatura (Influencia el tipo de bacteria predominante)³
- Humedad (Bajos índices limitan la descomposición)⁴
- pH y nutrientes (La generación de metano en rellenos sanitarios es máxima cuando existen condiciones de pH neutro)
- Condiciones atmosféricas
- Cobertura (El recubrimiento diario evita el contacto de los desechos con el oxígeno)
- Edad de los residuos (la generación de biogás es significativa durante 10 a 20 años)

El biogás resultante está compuesto principalmente de CH₄ (55%-70%) y CO₂ (30% - 40%), y contiene otra combinación de vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y siloxanos. De acuerdo con el estudio realizado por GIZ en articulación con el Gobierno Mexicano⁵, se puede ver que, dependiendo del uso que se requiera dar al biogás, deberá realizarse algún proceso de acondicionamiento para ser utilizado como sustituto de gas natural, combustible para generador termoeléctrico combinado, también llamado CHP por sus siglas en inglés (Combined Heat and Power) o para automóviles, combustible en una caldera para la producción de calor o en un sistema de cogeneración para la producción de electricidad y de calor.

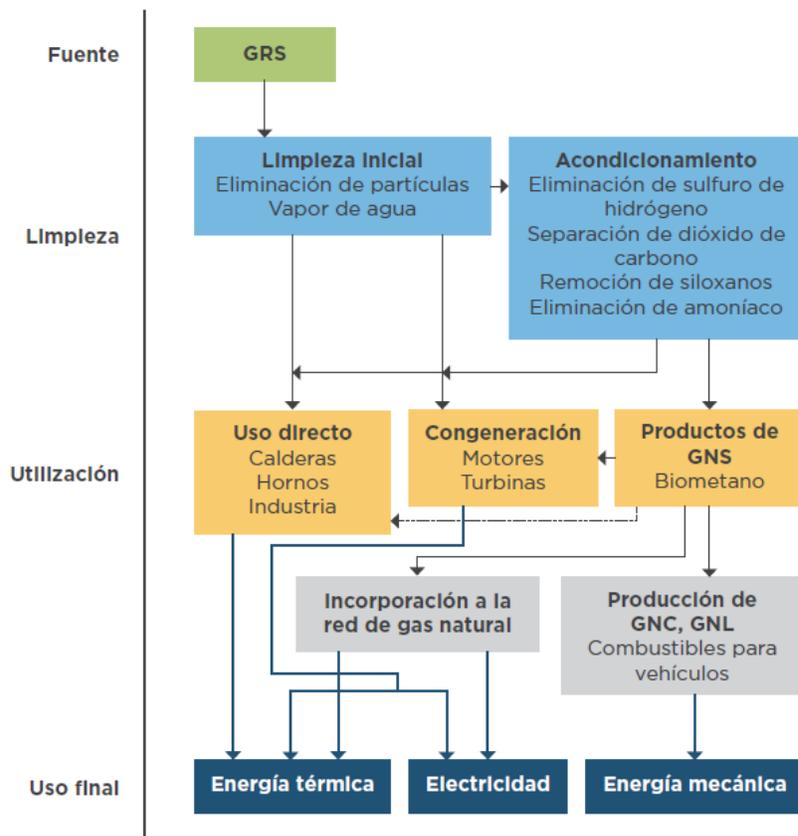
2 "MODELO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS PRODUCIDO EN RELLENOS SANITARIOS". DANIEL ÁLVARO LÓPEZ ARRIAZA. UNIVERSIDAD DE CHILE. 2016

3 Rango óptimo: 30 C – 40 C

4 Rango óptimo 50% - 60%

5 "Proyectos de Aprovechamiento Energético a partir de Residuos Urbanos en México. Plantas de Producción de Energía en Hornos Cementeros, Biodigestores, Rellenos Sanitarios y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales". GIZ. Gobierno de México. 2018

Gráfica 3: Tratamientos y usos del biogás



Fuente: Dudek et al., 2010.

Gráfica 4. Usos del biogás Motor de Combustión interna para aprovechamiento eléctrico de Biogás en Relleno Sanitario



Fuente: <https://powegen.gepower.com/products/reciprocating-engines/jenbacher-type-2.html>

7.2 Tratamiento mecánico biológico

El tratamiento mecánico biológico TMB o TBM según el orden del proceso, como su nombre lo indica, lo constituyen dos etapas, la primera “tratamiento mecánico” la segunda etapa el Tratamiento Biológico (TB). Su fin principal es incrementar la vida útil de un relleno, mediante la reducción, compactación y en algunos casos enfardado de los residuos que llegan a él. Como un objetivo secundario, se pretende mitigar la generación de lixiviados y gases en el sitio de disposición final.

El TM es un tipo de **pretratamiento utilizado para el manejo de los residuos sólidos urbanos dentro de los rellenos sanitarios, que combina la clasificación de los residuos (mecánico) con el tratamiento biológico de los residuos orgánicos**. Esta técnica busca disminuir la carga contaminante y el impacto ambiental de los residuos sobre la atmósfera y el subsuelo, por medio de un proceso de estabilización de estos.

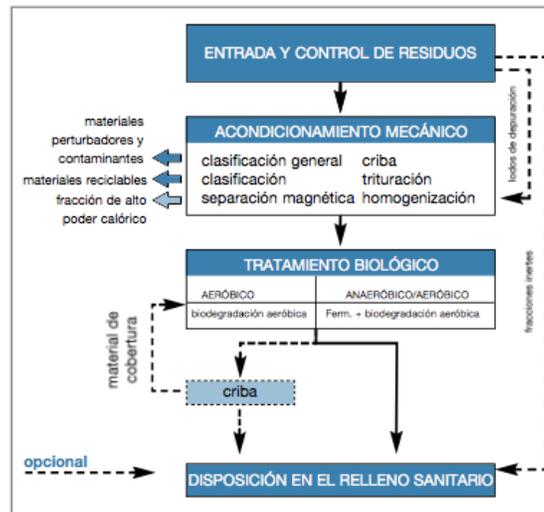
El tratamiento se establece para residuos sólidos municipales con un gran porcentaje de material orgánico biodegradable, constituido por desechos vegetales, desechos de cocina, desechos reciclables contaminados que no sean comercializables ni se puedan reincorporar al proceso productivo, textiles, entre otros.

Los proyectos realizados en diferentes países con el fin de implementar técnicas de TMB, han permitido identificar y generalizar las etapas en las que consiste el tratamiento mecánico biológico⁶:

- Entrada y control de los residuos
- Acondicionamiento mecánico
- Tratamiento biológico con digestión aerobia o anaerobia
- Disposición de los residuos desechos en relleno sanitario

⁶ Sector Project Mechanical-biological Waste Treatment Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GIZ). (2003)

Gráfica 5. Etapas de un tratamiento mecánico - biológico de residuos sólidos



Fuente: (GIZ, Sector Project Mechanical-biological Waste Treatment., 2003)

El acondicionamiento mecánico consiste en tres fases básicas: Clasificación y separación de materiales reciclables, papel, cartón, plásticos, vidrio, etc. y reciclables contaminados no comercializables que pueden ser utilizados como combustibles sólidos; Trituración y disgregación; y por último homogeneización y regulación del contenido de agua. Es necesario que el material tenga un alto contenido de humedad para optimizar la biodegradación en la fase de tratamiento biológico.

En el tratamiento biológico se busca que, bajo condiciones controladas, se acelere la degradación de la fracción orgánica de los residuos. Esta degradación biológica puede realizarse mediante dos procesos a saber: fermentación (Proceso anaerobio), degradación aerobia o una combinación de ambos procesos. Es así como se puede ver que no existe una forma única de tratamiento mecánico-biológico de desechos.

Tabla 12. Comparación procesos de tratamiento biológico

Degradación aerobia	Degradación anaerobia (fermentación)
La materia orgánica es degradada por microorganismos que requieren de oxígeno en el aire para sobre vivir.	Degradación biológica por parte de los microorganismos se desarrolla en ausencia de oxígeno en el aire; la fracción orgánica es degradada resultando de ello biogás (60% de metano, 40% de dióxido de carbono) y un resto orgánico fermentado.
Factores: <ul style="list-style-type: none"> - Demanda de oxígeno y control de aireación: El suministro continuo de oxígeno tiene una importancia decisiva para asegurar la actividad de los microorganismos - Contenido de agua y porosidad requerida: Para un óptimo proceso de degradación aerobia es necesaria, junto al oxígeno, la disponibilidad de agua en cantidades suficientes, pues los microorganismos solo son capaces de asimilar los nutrientes en forma disuelta - Temperatura: Durante el proceso de degradación aerobia se libera energía en forma de calor y la 	Aspectos: <ul style="list-style-type: none"> - Consistencia de los desechos tratados (fermentación húmeda y fermentación seca) - Temperatura de reacción - Proceso de degradación en una o en dos fases - El biogás se puede usar directamente para generar calor o se puede convertir en calor y electricidad utilizando una planta termoeléctrica combinada

Degradación aerobia	Degradación anaerobia (fermentación)
temperatura asciende paralelamente a la actividad de los microorganismos	
Área requerida reducida y menos emisiones de gases a la atmósfera, mejor balance energético (generalmente autarquía energética), mayor complejidad técnica, mayores costos	Menor contaminación de las aguas residuales, mayor seguridad operativa y de eliminación, mayor estabilidad del proceso biológico, menor complejidad técnica, menores costos en comparación con la tecnología de degradación aeróbica.

Fuente: elaboración propia

Para hacer la selección del procedimiento se debe tener en cuenta el objetivo del tratamiento, las condiciones existentes, la cantidad y la composición de los desechos, las condiciones climáticas y las exigencias locales respecto al control de emisiones.

Tabla 13. Procesos de degradación aerobia

Degradación aerobia en el relleno sanitario	Degradación aerobia en pilas estáticas con aireación pasiva	Procedimientos intensivos
Forma más sencilla de tratamiento	Requiere entre 4 y 12 meses	Complejidad técnica y operativa.
Requiere un mínimo de 3 a 4 meses		Duración de 2 a 5 semanas, además de 7 a 26 semanas que demora la fase de degradación final
Los desechos se distribuyen de forma suelta sobre la superficie del relleno sanitario.	Residuos esparcidos en forma de pila	Puede llevarse a cabo en naves, tambores, túneles, contenedores
Se debe añadir agua y revolver los residuos	No se deben revolver en el proceso, instalación de dispositivos de aireación y ventilación.	Son tratadas biológicamente las fracciones ricas en material orgánico
Rendimiento alcanzado: reducción del 50 a 60 % del material orgánico	Reducciones del 60 al 90 % del material orgánico	El material orgánico puede llegar a reducirse hasta en un 95%
Área específica requerida: 1-2 m ² /Mg de residuo/año	Área específica de aproximadamente 0,5 –1 m ² /Mg de residuo/año	Área específica requerida aproximadamente 0,2 a 0,3 m ² /Mg desechos/año
Malos olores, plagas de insectos, del arrastre de restos de basura por el viento y de incendios debido al área de residuos descubierta	No garantiza descomposición homogénea	Altos costos de construcción y operación

Fuente: elaboración propia

Los mayores costos de inversión y de mantenimiento en la biodegradación por fermentación han hecho que sea más común el uso de la biodegradación aerobia de los residuos.

El rendimiento que alcanza este proceso aerobio en el mismo relleno es una reducción de 50% a 60% del material orgánico, pero el proceso no puede eliminar los malos olores – es al aire libre-, las plagas de insectos y depende dónde se haga el proceso el arrastre de residuos por el viento. Se logra mejores rendimientos, reducciones entre el 60% y el 90% del material orgánico mediante el proceso de degradación aerobia en pilas estáticas con aireación pasiva. Esta degradación requiere entre 4 y 12 meses y un área aproximada de 0.5 a 1 m²/Mg de residuo año. Las características de la degradación aerobia intensiva se muestran en la tabla anterior.

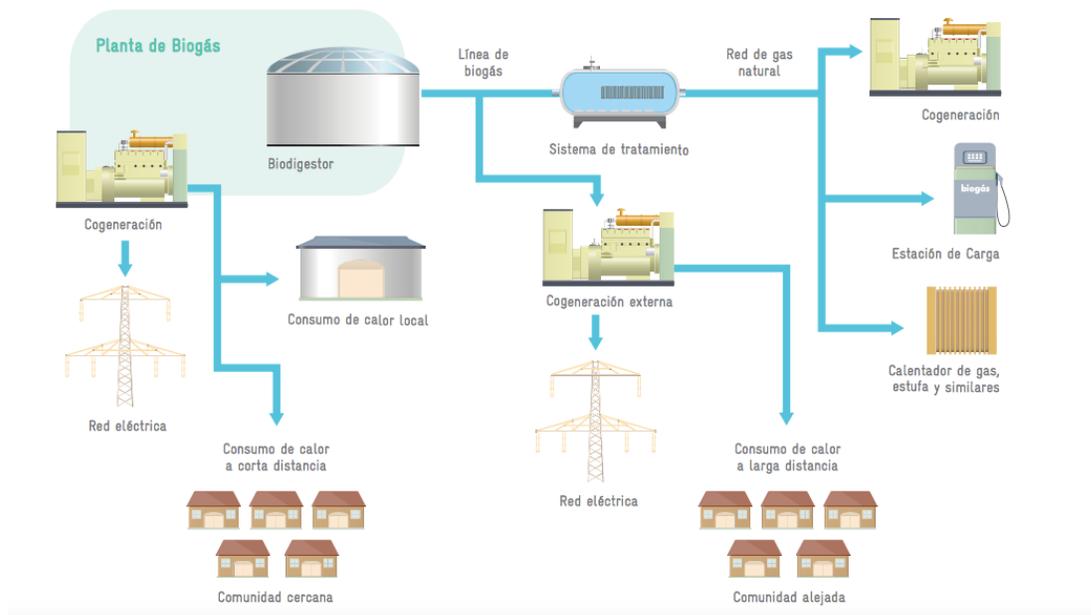
Las características de esta tecnología aplicada en los rellenos sanitarios, mejora el estado de los mismos en: reducción de las cantidades de residuos dispuestos; incremento de la compactación de los residuos, lo cual disminuye los asentamientos y mejora la estabilidad; reducción de la cantidad de tierra necesaria para las capas intermedias; extensión de la vida útil del sitio de disposición final; a mediano plazo se produce una mejora en la calidad de los lixiviados y una disminución en su cantidad, por disminución de la permeabilidad del residuo al agua; si la duración de la biodegradación supera las 20 semanas se logra reducir los gases liberados a valores de aproximadamente 95%; dada la separación de la fracción calorífica se reduce los riesgos de incendios en el relleno.

Las limitaciones de este tratamiento son: produce aguas residuales y lixiviados que deben ser captados y eventualmente utilizados para el humedecimiento del material en proceso de biodegradación; los gérmenes que se liberan durante el proceso de manipulación de los residuos ponen en riesgo al personal del relleno; el uso de maquinaria para la trituración, cernido, transporte, ventilación forzada y de ser el caso embalaje de los residuos previos a la disposición eleva significativamente el nivel de ruido del sitio de disposición final. (Fuente: Tratamiento mecánico biológico de desechos. Frauke Kebekus, ingeniería, 07/2000)

7.3 Biodigestión

De acuerdo con el estudio realizado por la GIZ, se puede esquematizar los diferentes usos del biogás de la siguiente forma:

Gráfica 6. Usos del biogás.



Fuente: “Proyectos de Aprovechamiento Energético a partir de Residuos Urbanos en México. Plantas de Producción de Energía en Hornos Cementeros, Biodigestores, Rellenos Sanitarios y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”. GIZ. Gobierno de México. 2018

Igualmente, el estudio mencionado señala que un biodigestor *“es el principal componente en el proceso de biodegradación, en el cual se lleva a cabo la fermentación anaeróbica y la producción de biogás. La elección de la tecnología depende de múltiples factores, como la disponibilidad y*

características del sustrato, su contenido de materia seca, potencial energético, incentivos, demanda local de energía, condiciones de transporte y recursos financieros disponibles, entre otros, por lo que la elección de la tecnología más apropiada debe hacerse con el apoyo de un experto.”

Por su parte, el aprovechamiento energético del biogás se contempla el marco normativo de energías alternativas en Colombia, en cabeza de la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME), del Ministerio de Minas y Energía, desde las bases de la Ley 1715 de 2014 que tiene como objeto “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético”.

Las principales tecnologías de biodigestión son:

Tabla 14. Tecnologías de biodigestión

Biodigestión húmeda continua	Biodigestión seca continua	Biodigestión seca en lote
La biomasa sólida se diluye usando aguas tratadas o biomasa líquida para proveer un sustrato diluido al biodigestor, el digestato líquido puede esparcirse en el suelo directamente como fertilizante	La biomasa se transporta lentamente desde la entrada de materia prima, al final del tanque, por lo que idealmente todas las partículas tienen el mismo tiempo de retención, aunque dependiendo de la naturaleza de la materia prima se pueden diseñar salidas alternas.	La biomasa es procesada en lotes que permanecen por un tiempo de retención de nido, el siguiente lote es inoculado con el digestato obtenido del proceso previo. Los lixiviados del sistema de drenaje se recirculan para que sirvan como líquido de percolación y optimicen el contacto de bacterias, ácidos orgánicos y materia prima. El digestato es postcompostado sin una etapa de separación

Fuente: “Proyectos de Aprovechamiento Energético a partir de Residuos Urbanos en México. Plantas de Producción de Energía en Hornos Cementeros, Biodigestores, Rellenos Sanitarios y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”. (GIZ. Gobierno de México. 2018)

Este tipo de tratamiento de los residuos sólidos municipales es ideal para trabajarlo con residuos de origen vegetal, cuando un municipio genera una cantidad importante de residuos de biomasa, como se dijo arriba con recolección selectiva de corte de césped, poda de árboles, plazas de mercado, centrales de abastos, el tratamiento biológico es exigente en que el residuo que ingrese sea biodegradable libres de contaminantes, por lo cual para llegar a masas críticas que permitan hacer factible el tratamiento se suelen mezclar con lodos de aguas residuales e industriales, residuos orgánicos de los sectores agrícolas y pecuarios; rechaza materiales inertes, desechos de construcción y demolición (RCD) y obviamente residuos peligrosos tanto hospitalarios como de origen industrial.

Los productos del proceso son un material sólido denominado Biodigestato, en Europa, algunos lo conocen con el nombre de “suelo estabilizado” y es utilizado para cubierta en los rellenos sanitarios y en los taludes de los viaductos, no se recomienda para uso en productos agrícolas de consumo humano, incluso algunos países lo prohíben y debe ser llevado a relleno sanitario. Otro producto es el biogás, de alto poder calorífico que se utiliza, previo a someterlo, como en las plantas de RGV, descrita en el acápite 6.1 a un proceso de limpieza y depuración, como sustituto del gas natural en hornos industriales, e incluso en uso doméstico –cocinas-. Con este gas también se puede generar energía en motogeneradores. El costo del proceso para llegar a este punto es considerable,

equivalente en algunos casos a los costos de las plantas WtE, con la limitante que la energía generada es menor.

7.4 Compostaje

El compostaje es una tecnología de aprovechamiento de residuos, que en Colombia se está utilizando ya en algunos municipios, para el material orgánico o biomasa producto del corte de césped, poda de árboles, plazas de mercado y domestico separado en fuente. Importante anotar que el proceso no admite materiales como: cenizas de carbón y coque, pañales, revistas a color, filtros de cigarrillos, tejidos sintéticos, aceite, restos de barrido.

Es un proceso biológico controlado de oxidación que reduce el residuo a un valor cercano al 25% en promedio y obtiene como producto comercializable 'el compost' un abono orgánico que puede complementar o sustituir total o parcialmente los fertilizantes químicos. Se recomienda para jardinería urbana, paisajismo, control de erosión y recuperación de suelos.

Suele combinarse con el proceso TMB descrito anteriormente, ubicándolo luego de la etapa de tratamiento biológico, con el propósito de lograr un producto comercial, que pueda procesar parte del material biodegradado en esa etapa.

Un aspecto clave en el análisis económico del compostaje es el valor y la factibilidad de comercialización del compost producido teniendo en cuenta la fragmentación de los mercados de compost en Colombia y los precios volátiles. Si se procesa un flujo mixto de residuos sólidos, es decir no se separa y selecciona el material de biomasa en la fuente, el producto generado es un compost de bajo nivel por lo que también es un elemento clave de viabilidad que haya demanda suficiente para el output generado en este tipo de instalación.

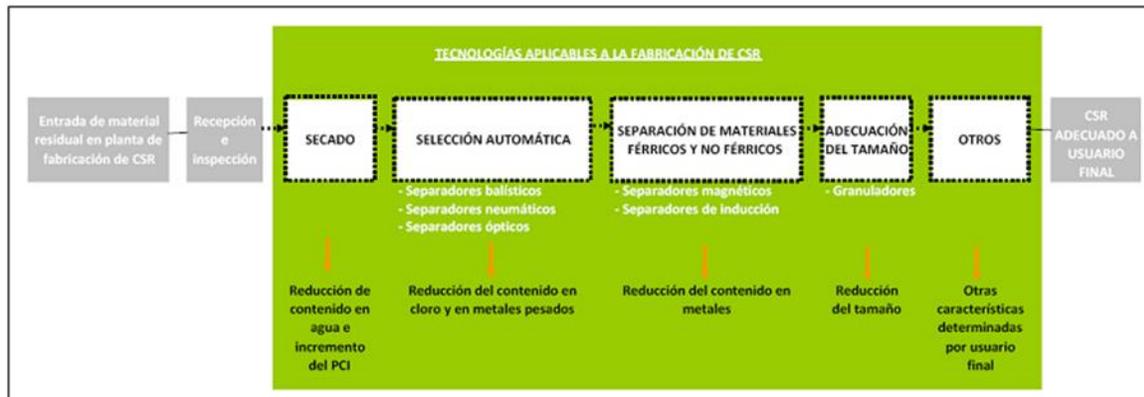
Se presentan tres técnicas de compostaje:

- **Compostaje en pilas estáticas cerradas:** Se introduce el residuo finamente molido en un recipiente de aproximadamente 1,5 m³, cubriéndolo con una capa de aserrín y cal para evitar malos olores, se tapa y se deja que a temperatura ambiente se produzca la biodegradación. Otra opción es implementar un proceso de compostaje en contenedores que, pese a que requieren de mayor inversión de capital que el compostaje en pilas, necesita de menos espacio, tiene tiempos de procesamiento menores y los olores y lixiviados se controlan mejor.
- **Compostaje en pilas aireadas:** es un proceso acelerado, en el cual se atraviesa la masa de residuos con una corriente de aire. Se controla la temperatura para permitir el desarrollo de las bacterias y matar la mayoría de patógenos y gérmenes.
- **Compostaje en pilas de volteo:** es el sistema más frecuentemente utilizado, Se deposita la masa a compostar sobre una superficie inclinada, para recoger los lixiviados, se cubre con una capa de aserrín con cal para evitar malos olores y semanalmente se voltea para evitar la compactación. A los tres o cuatro meses tendremos un producto Humus que ya puede ser comercializado, Es frecuente someter parte de este material a un proceso de lombricultura para obtener un producto de más alta calidad para el agro. También se utiliza a cielo abierto como se indica en la Figura 14, con un volteo mecanizado y una preparación previa del área que garantice una impermeabilización y recolección de lixiviados en la base de la pila para evitar contaminación del suelo y de fuentes hídricas subterráneas.

7.5 Combustible Derivado de Residuos (RDF)

El proceso consiste en fabricar combustibles sólidos a partir de los residuos sólidos municipales. Exige una unidad de tratamiento mecánico, que clasifique y separe los componentes del residuo, rescate los materiales potencialmente reciclables y adecue el material de alto poder calorífico que va a convertirse en combustible.

Gráfica 7: Proceso tecnológico para la fabricación de un combustible derivado de residuos RDF



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Combustible_S%C3%B3lido_Recuperado

Es ideal para ubicarlo en la línea de reciclaje, en las estaciones de clasificación y separación ECAS.

La incorporación de este tipo de tratamiento en el mercado energético aporta numerosas ventajas, tanto a nivel económico como ambiental: gestión y tratamiento de residuos más sostenible, mayor estabilidad del mercado energético y para los países sin autosuficiencia energética reducción de la dependencia energética exterior, incremento del uso de energías renovables y reducción de gases efecto invernadero. Al eliminar el rechazo de material que hacen las ECAS, se deja de llevar esa cantidad de residuos de alto poder calorífico a los rellenos sanitarios y se introduce al mercado industrial un nuevo combustible que sustituya los combustibles fósiles.

El combustible producido, bien sea su presentación peletizada, en briquetas, o simplemente en fardos se comercializa con la industria cementera, dando origen a la tecnología de aprovechamiento denominada coprocesamiento, o simplemente para procesos de coincineración industrial, en industrias de cal, ladrilleras metalúrgicas, o si el país dispone en plantas WtE.

Específicamente, en la industria cementera el proceso de coprocesamiento se desarrolla teniendo en cuenta que el principal componente del cemento es el clínker, (piedra caliza y arcilla molidas y homogenizadas en la cocción a 1450 °C dentro un horno rotatorio). Debido a las altas temperaturas, este proceso genera altas emisiones de gases de efecto invernadero, por el uso de combustibles fósiles, que al ser parcialmente sustituidos por RDF(s) mitigan el impacto ambiental de estos hornos. El proceso admite materiales como: plásticos, aceites, textiles, llantas, lodos industriales o lodos de PTAR y rechaza o no admite todo tipo de material peligroso, hospitalario e industrial, baterías, pilas, entre otros.

Conforme a lo anterior, es de resaltar que el tipo de tratamiento a utilizar específicamente para generar combustibles a partir de los residuos, deberá ser una decisión tomada en cada caso particular conforme a los siguientes elementos de apoyo y discernimiento:

- Tipos de residuos que serán utilizados y potencial calorífico
- Características y composición de los residuos
- Industria que utilizará el combustible
- Condiciones de calidad del producto final de la industria que utilizará el combustible
- Normatividad ambiental del país o municipio
- Control de emisiones y vertimientos durante el proceso

Afirma el PNUMA que: *“Los combustibles fósiles y las materias primas han sido sustituidos satisfactoriamente por desechos de varias clases en los hornos de cemento de Australia, Canadá, Europa, el Japón y los Estados Unidos de América desde el principio de la década de 1970” (GTZ/Holcim, 2006).*

7.6 Aprovechamiento energético de residuos (Waste to Energy – WtE)

El aprovechamiento energético de los residuos es el proceso mediante el cual se hace generación de energía en forma de electricidad, calor o combustible como metano, metanol, etanol, o combustibles sintéticos a través de diferentes clases de tecnologías disponibles de diferentes escalas y complejidad. De acuerdo con la guía para la toma de decisiones frente al aprovechamiento energético de los residuos, desarrollada por la GIZ⁷, esta clase de aprovechamiento “Puede incluir la producción de gas para cocina en digestores domésticos a partir de residuos orgánicos, la recolección de gas metano de rellenos sanitarios, el tratamiento térmico de residuos en plantas de incineración del tamaño de una compañía de servicios, el coprocesamiento de Combustible Derivado de Residuos (CDR) en plantas cementeras o la gasificación.”

El proceso térmico, comúnmente conocido como Waste to Energy -WtE-, fue implementado en Europa desde comienzos del siglo XX, posteriormente se construyeron algunas instalaciones en Estados Unidos y recientemente en Asia, utilizando la técnica de incineración. Actualmente, esta tecnología cuenta con la menor cantidad de emisiones de toda la industria de tratamiento de residuos, razón por la cual los documentos de referencia BREF europeos para incineración de residuos, declararon la incineración de residuos en rejillas con una correcta limpieza de los gases de combustión como “Mejor Tecnología Disponible”⁸.

Las plantas WtE, también llamadas plantas de termovalorización constan de los siguientes elementos:

⁷ “Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos”. Guía para los Responsables de la Toma de Decisiones en Países en vías de Desarrollo y Emergentes. GIZ 2017

⁸ Las actuales plantas de WtE pueden alcanzar entre 25-31% de eficiencia eléctrica neta, mayor que la de otras alternativas tecnológicas.

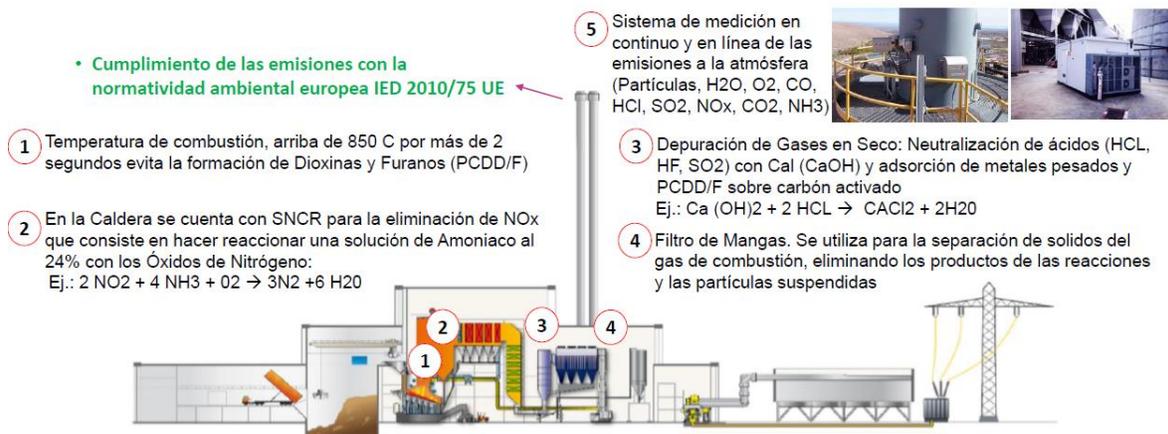
Figura 5: Proceso de la planta de termovalorización propuesta por Veolia a la ciudad de México



Fuente: Fuente Veolia México 2015

Estas plantas han evolucionado significativamente en el control ambiental, su implementación es muy exigente en el cumplimiento de normas ambientales, por lo cual disponen de un complejo sistema de control, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 6: Sistemas de control ambiental de las plantas de termovalorización propuesto por Veolia a la ciudad de México.



Fuente: Fuente Veolia México 2015

A manera de ilustración nos permitimos mostrar las emisiones de la planta WtE propuesta para la ciudad de México por la firma Veolia: cuyas características generales son: Tratamiento y aprovechamiento de 4.500 ton/día de RSM, generación de 9.650.000 MWh/año, cero descargas líquidas – no lixiviados- Consumo bruto de agua al año: 151.000 m³/año. Consumo de agua potable 2.500 m³/año.

Figura 7: Emisiones a la atmósfera de la planta propuesta por Veolia a la ciudad de México



Fuente: Veolia México 2015

La implementación de tecnologías WtE permite combatir problemas evidentes en economías emergentes tales como la escasez en la generación de energía eléctrica, espacios limitados para rellenos sanitarios, y las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la disposición inapropiada de residuos. No obstante, y conforme lo establece la GIZ en la guía, “la introducción de tecnologías WtE a menudo peligra a causa de obstáculos comunes, tales como la falta de sistemas tarifarios para fondar los costos de inversión y de operación, la aplicación insuficiente de la legislación ambiental y el número limitado de personal calificado para la operación eficiente y efectiva de los sistemas instalados.”

Para la implementación de tecnologías para el aprovechamiento energético de los residuos, los autores coinciden en que ésta no puede ser una opción aislada de otras tecnologías, sino que debe hacer parte de una estrategia de gestión integral de residuos, en donde deben existir acciones de reducción en la generación, reúso de materiales y reciclaje de materiales y aprovechamiento de residuos.

A la hora de planear la implementación de tratamiento energético de los residuos, los municipios deben tener en cuentas las características y el volumen real de residuos disponibles, descontando aquellos que son recolectados por los recicladores de oficio para ser incorporados en procesos de reciclaje; de igual forma, se debe analizar de manera profunda el marco legal incluyendo las etapas de diseño, operación y monitoreo, pues en la mayoría de los países el mismo es débil o incluso inexistente. “Se debe asegurar la existencia de un marco legal aplicable, y su aplicación debe formar parte del proceso de desarrollo incluso antes de considerar la construcción y operación de una planta de aprovechamiento energético de residuos”.

Adicionalmente, deberá observarse el sostenimiento financiero del proyecto, pues los proyectos de aprovechamiento energético de residuos tienden a ser costosos generando un riesgo financiero sustancial para los municipios.

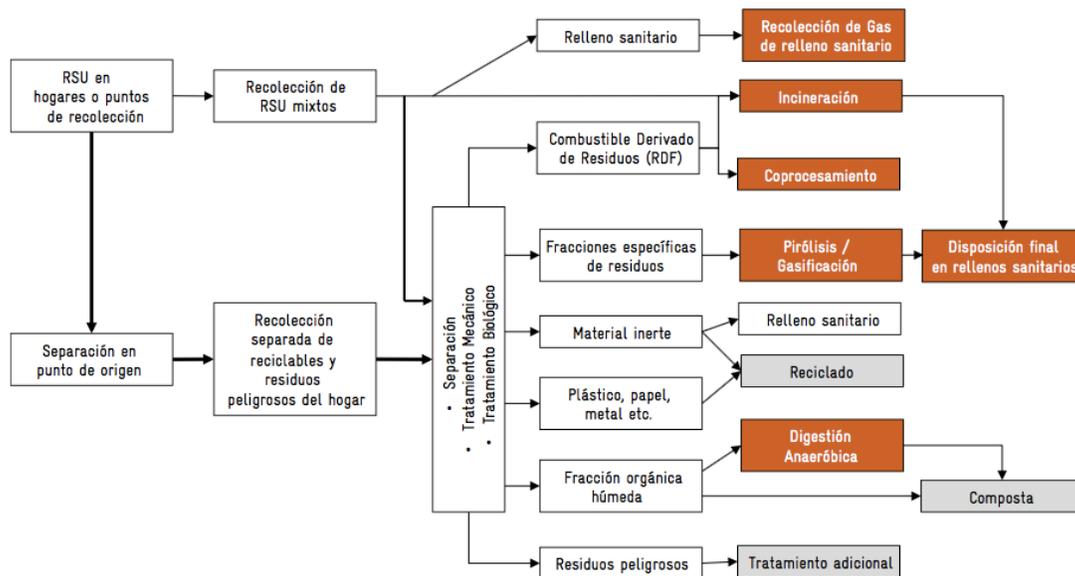
7.7 Opciones de tecnología para el aprovechamiento energético de residuos.

Tecnologías de tratamiento y aprovechamiento de Residuos sólidos municipales y su empleo en el mundo.

En la actualidad existen distintos tipos de tecnologías de aprovechamiento energético de residuos: incineración, coprocesamiento, digestión anaerobia (DA), gas de relleno sanitario (GRS) y pirólisis / gasificación (conocidas como tecnologías alternativas).

La guía desarrollada por la GIZ, presenta el siguiente esquema para el flujo de materiales y las diferentes opciones de tratamiento.

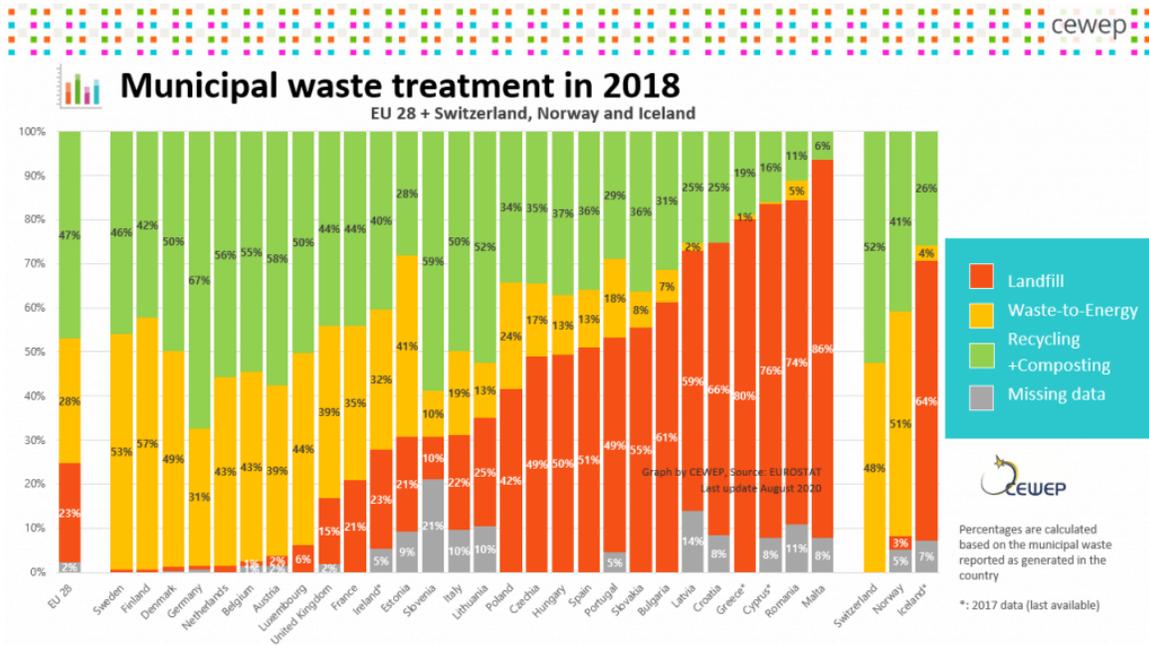
Gráfica 8: Flujo de materiales de los RSM y sus opciones de tratamiento.



Fuente: (GIZ, Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos, 2017)

Es importante observar el comportamiento de países que ya han vivido el proceso de selección de tecnologías para el tratamiento de los RSM y que han avanzado en los objetivos OCDE respecto al cambio climático y la economía circular.

Figura 8: Termovalorización y reciclaje en Europa



Fuente: Confederation of European Waste to Energy Plants CEWEP 2018.

Como puede apreciarse los países más desarrollados han venido sustituyendo los rellenos sanitarios por plantas WtE y acciones de reciclaje + compostaje, que son los procesos tecnológicos de mayor viabilidad para su implementación, y que están dentro de las tecnologías de la NAMA RSM para Colombia.

En el capítulo No. Ocho se presenta una descripción de los aspectos técnicos para cada una de las tecnologías planteadas en la NAMA de Residuos Sólidos Municipales.

8 Emisiones de GEI del sector residuos

8.1 Línea base y escenario BAU

El ámbito de actuación de la presente NAMA de Residuos Sólidos Municipales corresponde a la gestión de residuos sólidos municipales a nivel de relleno sanitario, que es el sistema de disposición final que predomina en la operación del 78% de los municipios de la geografía nacional y conglomerada el 97% de los residuos sólidos provenientes del servicio público de aseo, (SSPD-DNP, 2018).

Así, para el cálculo de la línea base de emisiones se seleccionaron las siguientes coberturas temporal, geográfica y tecnológica:

- **Cobertura temporal:** para realizar la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero se requieren datos históricos de eliminación de residuos sólidos, por lo que se tomó como referencia para obtener los datos la información disponible para el período comprendido entre el **inicio de la actividad en cada relleno sanitario hasta el año 2019**, a partir del Sistema Único de Información (SUI) e información de la encuesta a rellenos sanitarios ejecutada durante el proyecto. Este período cuenta con disponibilidad de información tanto en cuanto a disposición anual de residuos en relleno sanitario (anualmente para todo el periodo) como en referencia a la composición de estos (para el último año disponible), ya que son estos los principales factores que influyen sobre las emisiones provenientes del tratamiento de los desechos.
- **Cobertura geográfica:** para efectos de este análisis se tendrán en cuenta datos desglosados para **22 rellenos sanitarios seleccionados para el proyecto y que dan cobertura a la gestión de un 80% de los residuos sólidos tratados en relleno sanitario anualmente en Colombia.**

Los rellenos sanitarios y departamentos que forman parte de la línea base de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales son los que se recogen en la tabla a continuación:

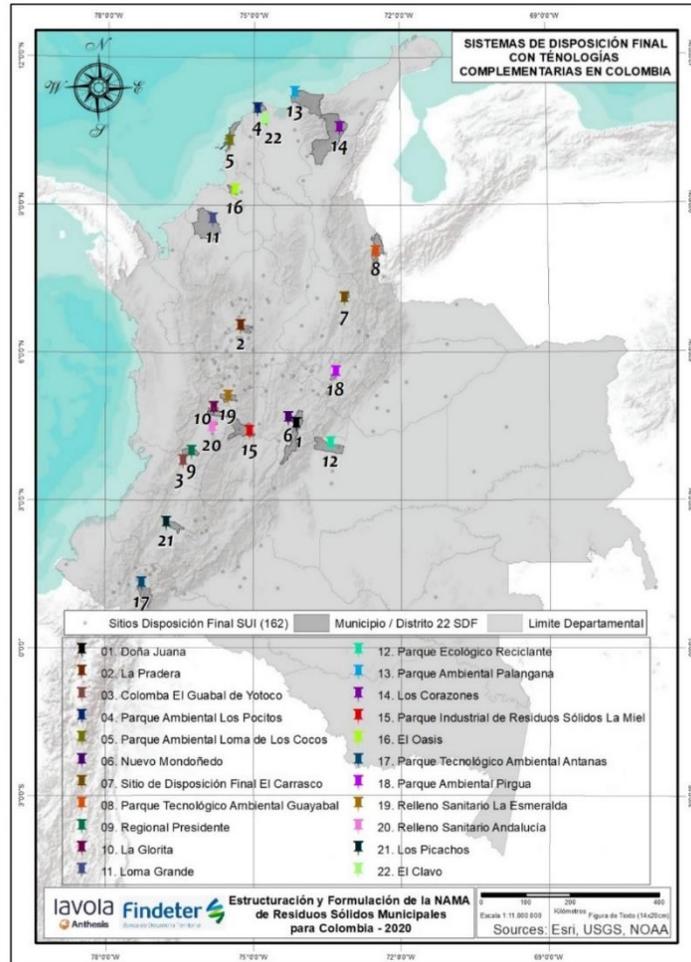
Tabla 15. Rellenos sanitarios considerados en el cálculo de la línea base de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

Nombre del relleno sanitario	Departamento
Doña Juana	Bogotá D.C.
Pradera	Antioquia
Colomba El Guabal de Yotocó	Valle del Cauca
Parque Ambiental Los Pocitos	Atlántico
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	Bolívar
Nuevo Mondoñedo	Cundinamarca
Sitio de disposición final El Carrasco	Santander
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	Norte de Santander
Regional Presidente	Valle del Cauca
La Glorita	Risaralda

Nombre del relleno sanitario	Departamento
Loma Grande	Córdoba
Parque Ecológico Reciclante	Meta
Parque Ambiental Palangana	Magdalena
Los Corazones	Cesar
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	Tolima
El Oasis	Sucre
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	Nariño
Parque Ambiental Pírgua	Boyacá
La Esmeralda	Caldas
Parque Ambiental Andalucía	Quindío
El Clavo	Atlántico
Los Picachos	Cauca

Fuente: elaboración propia

Gráfica 9. Ubicación de los rellenos sanitarios



Fuente: elaboración propia

- **Cobertura tecnológica:** El ámbito de la huella de carbono fueron las actividades llevadas a cabo en los rellenos sanitarios: gestión de los residuos mediante disposición y prácticas de manejo y tecnologías de aprovechamiento y mitigación de emisiones de GEI llevadas a cabo en los rellenos seleccionados.

Metodología

El tratamiento y la eliminación de los desechos sólidos municipales, industriales y otros producen cantidades significativas de metano (CH_4). Además del CH_4 , los sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS) producen también dióxido de carbono biogénico (CO_2) y compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), así como cantidades más pequeñas de óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). El CH_4 producido en los SEDS contribuye con aproximadamente un 3 a un 4 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas mundiales anuales (IPCC, 2001).

La metodología empleada para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al tratamiento de los residuos sólidos municipales en Colombia, ha sido la propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés): **las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, del volumen 5, eliminación de desechos sólidos.**

Para el presente análisis se tuvo en cuenta el marco de referencia de la actualización de la NDC, tomando como base la documentación enviada a la Convención Marco de Naciones Unidas – UNFCCC y los documentos generados en el proceso que se dispusieron en el repositorio de la página institucional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De igual forma, se tuvieron en cuenta las reglas de contabilidad, y en particular se cita la regla número 6 en la cual las acciones llevadas a cabo con antelación al año 2015 se contabiliza como parte de la línea base. Cabe indicar, que la regla se encuentra en desarrollo y genera una anotación sobre futuros ajustes que incluyen el hecho de poder demostrar que el proyecto dependerá de su viabilidad de las capturas realizadas antes del 2015. Queda abierta esta posibilidad para futuros ajustes en los escenarios. A la fecha se indica que las emisiones se contabilizan en la línea base para todos los casos colombianos.

Las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI, describen dos métodos para estimar las emisiones de metano (CH_4) procedentes de los sitios de disposición de residuos sólidos: el método por defecto u omisión (nivel 1), con el supuesto de que la totalidad del CH_4 potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los desechos, y el método de descomposición de primer orden (DPO, nivel 2), el cual produce un perfil de emisión que depende del tiempo transcurrido y que refleja mejor las verdaderas pautas del proceso de degradación a lo largo del tiempo.

Las directrices del IPCC desaconsejan fuertemente el uso del método de equilibrio de masas pues produce resultados que no son comparables con los del método de descomposición de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés) que permite obtener estimaciones más exactas de las emisiones anuales.

Así pues, la metodología del IPCC elegida para estimar las emisiones de CH_4 provenientes de los SEDS o rellenos sanitarios se basa en el método de descomposición de primer orden (FOD). En este método se formula la hipótesis de que el componente orgánico degradable (carbono orgánico degradable, COD) de los desechos se descompone lentamente a lo largo de unas pocas décadas, durante las cuales se forman el CH_4 y el CO_2 . Si las condiciones permanecen constantes, el índice de producción del CH_4 depende únicamente de la cantidad de carbono restante en los desechos. De aquí resulta que las emisiones de CH_4 generadas por los desechos depositados en un vertedero son las más altas durante los primeros pocos años siguientes a la eliminación y que, luego, éstas decaen a medida que el carbono degradable de los desechos es consumido por las bacterias responsables de la descomposición.

La transformación de la materia degradable de los SEDS en CH₄ y CO₂ se produce a través de una cadena de reacciones y de reacciones paralelas. Un modelo completo tiende a ser muy complejo y varía con las condiciones prevalecientes en los SEDS. Sin embargo, los datos de las observaciones de laboratorio y de campo sobre la generación de CH₄ sugieren que el proceso global de descomposición puede aproximarse por una cinética de primer orden (p. ej., Hoeks, 1983), y esto ha sido ampliamente aceptado. El IPCC ha adoptado, por lo tanto, el relativamente simple modelo FOD como base para la estimación de las emisiones de CH₄ generadas por los SEDS.

Las vidas medias para los diferentes tipos de desechos varían en un intervalo que va de unos pocos años a varias décadas o más. Para alcanzar una exactitud aceptable en los resultados, el método FOD exige recopilar o estimar datos sobre las eliminaciones históricas de desechos durante un periodo de 3 a 5 vidas medias. Por lo tanto, es una *buena práctica* usar datos sobre eliminaciones de desechos realizadas al menos durante 50 años, pues este lapso proporciona un resultado aceptablemente exacto para la mayoría de las prácticas y condiciones de la eliminación.

Para ajustar algunos parámetros utilizados en la metodología del IPCC al clima colombiano se ha utilizado los índices de generación de metano del **Modelo Colombiano de Biogás Versión 1.0**. Este modelo, también basado en el método de descomposición de primer orden (FOD) permite matizar parámetros por regiones climáticas colombianas que en la metodología del IPCC serían homogéneos para toda Colombia.

De acuerdo con esto, el punto de partida para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del tratamiento y la eliminación de desechos sólidos es la **recopilación de datos de la actividad relativos a la generación, la composición y la gestión de los desechos en los rellenos sanitarios de Colombia**.

La composición de los desechos es uno de los principales factores que influyen sobre las emisiones provenientes del tratamiento de los desechos sólidos, pues los diferentes tipos de desechos contienen diferentes cantidades de carbono degradable orgánico (DOC) y de carbono fósil.

La información para el cálculo de emisiones de GEI, en lo relativo a la caracterización y dimensionamiento del sector de los residuos sólidos municipales a nivel de relleno sanitario, proviene principalmente de las siguientes **fuentes de información**:

- Informes Anuales SSPD - Base de datos del Sistema Único de Información (SUI). El sistema único de información para los servicios públicos domiciliarios y actividades complementarias de que trata la Ley 142 de 1994, se nutre de la información proveniente de los prestadores de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, de las entidades territoriales y demás obligados a reportar información; cumple las funciones establecidas en el artículo 14 de la Ley 689 de 2001 y es administrado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), de conformidad con las normas aplicables. (Decreto 1077 de 2015 Artículo 2.3.5.1.1.2.4)
- Encuesta a rellenos sanitarios elaborada en el marco del proyecto, que puede consultarse en el Anexo 1 y las respuestas capturadas en el Anexo 2.
- Datos recopilados por el Ministerio de Vivienda mediante visitas de campos a rellenos sanitarios realizadas en el año 2018.

Se han excluido de los cálculos las emisiones de GEI de la energía utilizada a los procesos llevados a cabo en los rellenos sanitarios, así como también las asociadas al transporte de los residuos hasta los

sitios de disposición, en armonización con los lineamientos de la ISO 14064-1 y el estándar de política y acción GHG Protocol de WRI.

Datos de base para el cálculo

Para la determinación del inventario de gases de efecto invernadero se elaboró una base de datos que recoge entre otra la siguiente información a nivel de relleno sanitario:

Tabla 16. Datos de base y fuente para su obtención

Datos necesarios	Fuente obtención datos
Toneladas residuos sólidos dispuestas anualmente (desde inicio de actividad)	Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI) Encuesta a rellenos sanitarios Población municipal histórica y proyección hasta 2035 (CNPV 2018)
Caracterización residuos sólidos de los R.S.	Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI) Excel compilado fichas, Minvivienda Encuesta a rellenos sanitarios
CH ₄ recuperado con técnicas de aprovechamiento	Datos obtenidos en visitas técnicas año 2018 Encuesta rellenos sanitarios Datos de reducciones reportadas en proyectos presentados al Clean Development Mechanism (CDM)

Fuente: elaboración propia

Mediante el cuestionario a los rellenos sanitarios se obtiene información complementaria para el cálculo de la línea base entre ellos, factores que determinan la cantidad de metano recuperado como:

- Área del relleno cubierta por sistema de captura
- Profundidad de los residuos
- Tipo de cobertura aplicada
- Recubrimiento inferior
- Compactación de residuos
- Manejo de lixiviados

Para estimar las toneladas de residuos que recibirán los residuos en los próximos años hasta 2030 se utilizan dos factores determinantes o *drivers*.

Población atendida

Se utiliza la serie municipal de población por edad, sexo y área para el periodo 1985-2035 con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV 2018) para determinar que volumen de

población tendrán el total de municipios atendidos por cada relleno sanitario anualmente hasta 2030.

Ratio residuo por habitante

Con base a la misma serie histórica de compilación municipal del CNPV 2018 y el histórico de toneladas tratadas en cada relleno se calcula la evolución histórica de la relación de residuo tratado por habitante. Además, con estos datos se calcula la tendencia de esta relación, que en mayor o menor medida según el relleno resulta de incremento anual. Partiendo de la ratio del último dato con datos reales de toneladas tratadas y utilizando la tendencia de incremento de esta ratio calculada para cada relleno se estima la ratio anual esperada hasta 2030.

Del cruce de población anual esperada y relación de residuo tratado por habitante se obtienen las toneladas de residuo tratado esperado hasta 2030 para cada relleno sanitario.

Figura 9: Estimación toneladas de residuo tratado hasta 2030



Fuente: elaboración propia de la consultoría

Además de estos factores determinantes o drivers también se incluyen otros relacionados con políticas públicas de gestión de residuos para estimar el volumen de residuos tratados anualmente hasta 2030 para cada relleno.

- Indicadores Plan Nacional de Desarrollo del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - Servicio público de aseo⁹:
 - **Porcentaje de residuos sólidos urbanos dispuestos adecuadamente**

Las políticas previstas prevén que este indicador incremente del 97,9% (2019) hasta el 99,3% en 2022. Asumiendo que se cumple este objetivo y se prolonga esta tendencia, se prevé llegar al 100% de residuos sólidos urbanos dispuestos adecuadamente. Esta política se tiene en cuenta en los cálculos de toneladas futuras de residuos tratados por relleno, incrementando el volumen previsto un 0,35% anual acumulativo hasta 2024 y aplicando a partir de ese año el 2,1% de incremento acumulado hasta 2030.
 - **Porcentaje de hogares con servicio de recolección de basuras**

Las políticas previstas prevén que este indicador incremente del 82,4% (2019) hasta el 84,4% en 2022 por lo que se incrementarán un 3,26% las toneladas de residuos tratados. Asumiendo que se cumple este objetivo y se prolonga esta tendencia, se prevé llegar al 85,6% de hogares con servicio de recolección de basuras en 2030. Esta política se tiene en cuenta en los cálculos de toneladas futuras de residuos tratados por relleno, incrementando el volumen previsto un 0,27% anual hasta aplicar el incremento del 3,26% final en 2030.
- Metas de política nacional de crecimiento verde (Documento Conpes 3934 de 2018)
 - **Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos**

Una de las metas previstas, que desde el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio se está adelantando en el marco del Conpes 3934 de 2018¹⁰, es el incremento de la tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos del 8,6% (2015) hasta el 17,9% en 2030 por lo que se reducirían un 10,2% las toneladas de residuos que llegan a los rellenos sanitarios. Esta política se tiene en cuenta en los cálculos de toneladas futuras de residuos tratados por relleno, reduciendo el volumen previsto un 0,68% anual hasta aplicar la reducción del 10,2% final en 2030.

⁹ Pacto por la calidad y eficiencia del servicio público: agua y energía para promover la competitividad y el bienestar de todos. Línea 2: Agua limpia y saneamiento básico adecuado. Objetivo 1: Implementar estrategias para el logro de la prestación eficiente, sostenible e incluyente de los servicios de APSB, con orientación regional y una política nacional de gestión integral de residuos sólidos que articule el concepto de economía circular.

¹⁰ <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3934.pdf>, página 96.

Determinación de la huella de carbono para el sector

A partir de esta base de datos por relleno y del modelo de cálculo incluido en las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para estimar las emisiones de metano de los sitios de eliminación de desechos sólidos, se determina la línea base de emisiones de CH₄.

A continuación, se describen los factores que determinan la cantidad de metano producido en los rellenos sanitarios:

- **Cantidad y composición de residuos:** El carbono orgánico total de los desechos que puede acceder a la descomposición bioquímica se estima sobre la base de la composición de los residuos y puede calcularse a partir del promedio ponderado del contenido de carbono degradable de los diversos componentes (tipos y/o materiales de desecho) de la corriente de desechos. La composición debe tenerse en cuenta por las grandes diferencias de fracción de carbono orgánico degradable entre las distintas fracciones de residuos y la proporción variable de cada fracción respecto la cantidad total de residuos.
- **Periodo de vida de los residuos e índice degradación de residuos orgánicos (producción de CH₄):** El valor de la vida media, ($t_{1/2}$), es el tiempo necesario para que la masa de carbono orgánico degradable de los desechos se descomponga hasta la mitad de su masa inicial. En el modelo FOD y en las ecuaciones de este volumen, se usa la constante de reacción k (índice de generación de metano). Los valores k se obtienen por mediciones experimentales, calculado con modelos o utilizados en los inventarios de gases de efecto invernadero y otros estudios. La relación entre k y $t_{1/2}$ es la siguiente: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. La vida media está afectada por una amplia variedad de factores relacionados con la composición de los desechos, las condiciones climáticas del lugar donde se sitúa el relleno, las características del relleno, las prácticas de eliminación de desechos y otros. En la metodología del IPCC se clasifica el clima en Colombia como Tropical (temperatura media anual $>20^{\circ}\text{C}$) y húmedo y seco (precipitación media anual $>1.000\text{mm}$) y en consecuencia la vida media de las distintas fracciones de residuos es de entre 2 (materia orgánica) y 20 años (madera) y el índice de generación de metano de entre 0,4 (fangos) y 0,04 (madera). Sin embargo, los matices de estos valores aportados por el Modelo Colombiano de Biogás indican que bajo determinadas condiciones climáticas de algunos rellenos sanitarios la vida media puede llegar a extremos de hasta 70 años (madera).
- **Profundidad de los residuos y prácticas de manejo (material de cobertura, compactación, etc.):** El factor de corrección de CH₄ (MCF) da cuenta del hecho de que, a partir de una cantidad dada de desechos, los rellenos sanitarios no gestionados producen menos CH₄ que los rellenos sanitarios anaeróbicos gestionados. En los rellenos sanitarios no gestionados, una fracción mayor de desechos se descompone aeróbicamente en la capa superior. En los rellenos sanitarios no gestionados con eliminación profunda y/o con un alto nivel freático, la fracción de desechos que se degrada aeróbicamente debe ser más pequeña que en un relleno sanitario de poca profundidad. Los rellenos sanitarios semi-aeróbicos gestionados lo son de manera pasiva por introducción de aire en la capa de desechos para crear un entorno semi-aeróbico dentro del relleno sanitario.

Tabla 17. Factor de corrección de metano según tipología de relleno sanitario

Tipo de relleno sanitario	MCF
Gestionado – anaeróbico: Deben implementar la colocación controlada de los desechos, es decir los desechos son dirigidos a áreas específicas de deposición donde se ejerce un cierto control sobre la recuperación informal de residuos reciclables y la quema de basuras, e incluir por lo menos uno de los siguientes elementos: material protector de la cubierta; compactación mecánica o nivelación de los desechos.	1,0
Gestionado – semi-aeróbico: deben garantizar la ubicación controlada de los desechos e incluir todas las estructuras siguientes para introducir aire en las capas de desechos: material de la cubierta permeable; sistema de drenaje para la lixiviación; estanques de regulación y sistema de ventilación de gases.	0,5
No gestionado – profundo (>5 m desechos) y/o capa freática elevada: Todos los rellenos sanitarios que no cumplen con los criterios de los rellenos gestionados y que tienen profundidades mayores o iguales a 5 metros y/o una capa freática elevada cercana al nivel del suelo. La última situación corresponde al llenado con desechos de un terreno con aguas fluviales, como un estanque, río o humedal.	0,8
No gestionado – poco profundo (<5m de desechos): todos los rellenos que no cumplen con los criterios de los rellenos gestionados y que tienen profundidades de menos de 5 metros.	0,4
Relleno no categorizado	0,6

Fuente: Manual de usuario del Modelo Colombiano de Biogás. Versión 1.0.

La determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del tratamiento y la eliminación de desechos sólidos que conforman la línea base se ha realizado mediante un proceso de cálculo con varias fases. (Ver Anexo 7. Cálculos de Línea Base-BAU)

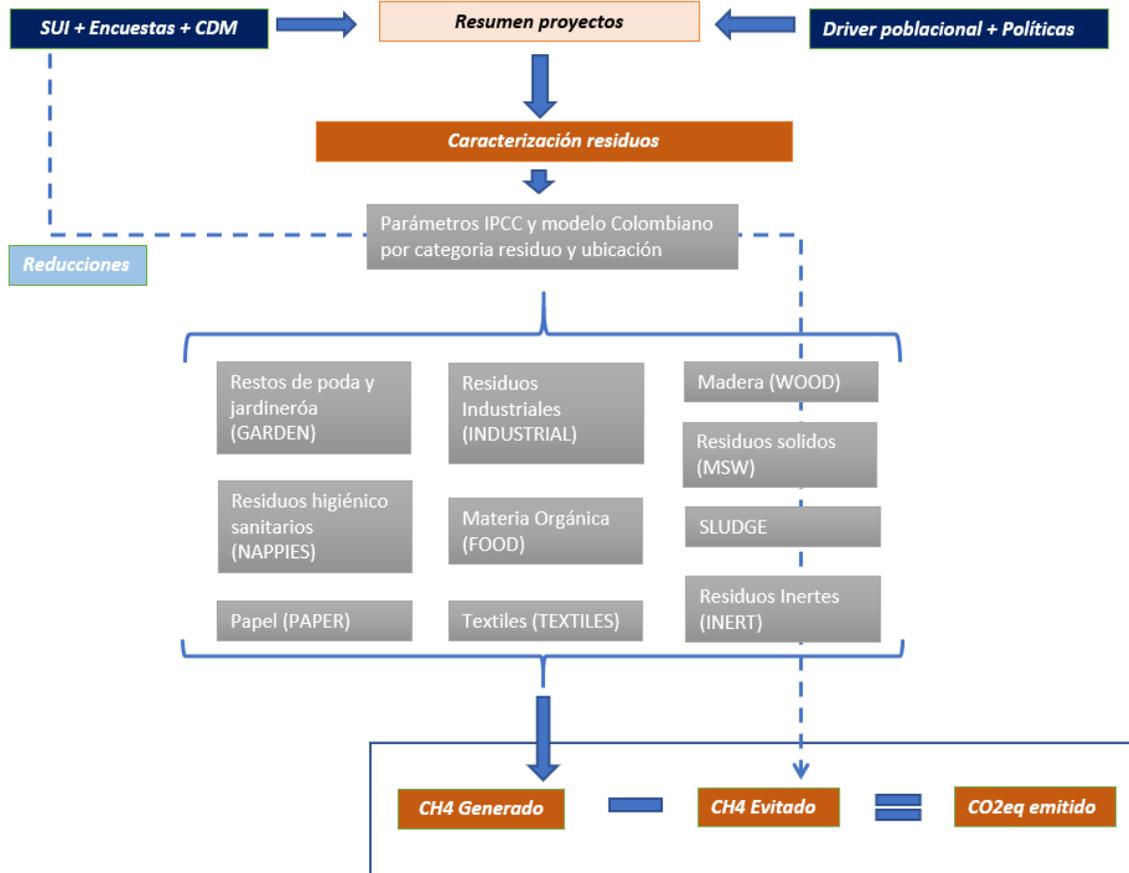
A partir de los datos de actividad y los factores que determinan la cantidad de metano generado, el modelo simple de cálculo para el método FOD estima la cantidad de metano generada. La generación de metano se estima con base a la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC) descompuesto en el sitio de eliminación, la cantidad depositada cada año y la cantidad restante de los años anteriores.

Después se calcula la cantidad de CH₄ generado a partir del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaeróbicas en los SEDS, (DOC_m), y se resta el CH₄ recuperado y el CH₄ oxidado en el material de la cubierta, obteniendo como resultado la cantidad de CH₄ emitido a la atmósfera.

Descripción del modelo en Excel y detalle de los cálculos

Para los cálculos de la línea base se utilizó un libro de cálculo Excel, elaborado por la Consultoría en base las Directrices del IPCC, capítulo 3 del volumen 5 de eliminación de desechos sólidos, cuya estructura se muestra en la imagen a continuación.

Figura 10 Estructura del modelo de cálculo de emisiones



Fuente: elaboración propia de la consultoría

Se parte de una matriz resumen inicial (pestaña Resumen proyectos) con los datos básicos de cada uno de los rellenos sanitarios analizados tales como toneladas de residuos anuales depositados (año inicio actividad - 2018), caracterización de los residuos mediante el porcentaje de las fracciones (Residuos de comida, Vidrio, Metales, Plásticos, Papel, Cartón, Otros orgánicos, Otros inorgánicos, Textiles, Goma, Cuero, Residuos de jardín, Madera, Suciedad, cenizas, etc., Huesos, Higiénicos, Icopor, Eléctricos, Otros) y cantidad de metano recuperado anualmente en los rellenos sanitarios (2009-2018).

Con esta tabla inicial se calcula una matriz de caracterización del residuo según fracciones utilizadas por el SUI con la cantidad de residuos de cada fracción para cada año histórico con datos y para cada relleno sanitario analizado. Con base a estos datos históricos y por fracciones se proyecta el volumen de residuos de cada fracción que tratará anualmente cada relleno sanitario en el futuro hasta 2030, (Pestaña Caracterización residuos) con base a la proyección de residuos totales tratados hasta 2030 expuesto anteriormente.

En segundo lugar, se agrupan las fracciones futuras proyectadas hasta 2030 para cada relleno sanitario en las fracciones utilizadas en la metodología del IPCC para estimar las emisiones de CH₄ provenientes de los SEDS o rellenos sanitarios basada en el método de descomposición de primer orden (FOD). Estas son Materia Orgánica (FOOD), Restos de poda y jardinería (GARDEN), Papel (PAPER), Madera (WOOD), Textiles (TEXTILES), Residuos higiénico-sanitarios (NAPPIES), SLUDGE, Residuos sólidos (MSW), Residuos Inertes (INERT), Residuos Industriales (INDUSTRIAL), (Pestaña Caracterización agrupada IPCC).

Para cada una de estas fracciones, se usan los datos de sus proyecciones futuras a 2030 de cada relleno sanitario para calcular en una matriz independiente el metano generado anualmente.

Tabla 18. Componentes del modelo FOD

Componente	Simbología	Unidades	Año inicial	Año n	Año n+1	Año final
Monto depositado	W	Gg	...	...	...	...
MCF	MCF	fraction	...	...	...	...
DOC descomponible (DDOCm) depositado	$D = W * DOC * DOCf * MCF$	Gg	...	...	...	...
DDOCm no reaccionado en año de deposición	$B = D * exp2$	Gg	...	...	...	...
DDOCm descompuesto en año de deposición	$C = D * (1 - exp2)$	Gg	...	...	...	...
DDOCm acumulado en el relleno al final del año	$H = B + (H_{last\ year} * exp1)$	Gg	...	...	...	...

Fuente: elaboración propia y Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5. Desechos.

Tabla 19. Parámetros del modelo FOD

	Parámetro	Simbología	Materia Orgánica	Restos de poda y jardinería	Papel	Madera	Textiles	Res. higiénico-sanitarios	SLUDGE	Residuos sólidos
Seco	Índice de Generación de Metano	k	0,40	0,17	0,07	0,04	0,07	0,07	0,40	0,17
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	t 1/2	2,00	4,00	10,00	20,00	10,00	10,00	2,00	4,00
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	h = ln(2)/k	1,73	4,08	9,90	19,80	9,90	9,90	1,73	4,08
	exp1	exp(-k)	0,67	0,84	0,93	0,97	0,93	0,93	0,67	0,84
Moderadamente seco	Índice de Generación de Metano	k	0,34	0,15	0,06	0,03	0,06	0,06	0,34	0,15
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	t 1/2	2,00	5,00	12,00	23,00	12,00	12,00	2,00	5,00
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	h = ln(2)/k	2,04	4,62	11,55	23,10	11,55	11,55	2,04	4,62
	exp1	exp(-k)	0,71	0,86	0,94	0,97	0,94	0,94	0,71	0,86
Moderadamente húmedo	Índice de Generación de Metano	k	0,26	0,12	0,05	0,02	0,05	0,05	0,26	0,12
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	t 1/2	3,00	6,00	14,00	29,00	14,00	14,00	3,00	6,00
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	h = ln(2)/k	2,67	5,78	14,44	28,88	14,44	14,44	2,67	5,78
	exp1	exp(-k)	0,77	0,89	0,95	0,98	0,95	0,95	0,77	0,89
Húmedo	Índice de Generación de Metano	k	0,18	0,09	0,04	0,02	0,04	0,04	0,18	0,09

Parámetro	Simbología	Materia Orgánica	Restos de poda y jardinería	Papel	Madera	Textiles	Res. higiénico-sanitarios	SLUDGE	Residuos sólidos	
Tiempo de vida media (t1/2, años):	t 1/2	4,00	8,00	20,00	39,00	19,00	19,00	4,00	8,00	
Tiempo de vida media (t1/2, años):	$h = \ln(2)/k$	3,85	7,70	19,25	38,51	19,25	19,25	3,85	7,70	
exp1	exp(-k)	0,84	0,91	0,96	0,98	0,96	0,96	0,84	0,91	
Excesivamente húmedo	Índice de Generación de Metano	k	0,10	0,05	0,02	0,02	0,02	0,10	0,05	
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	t 1/2	7,00	14,00	35,00	70,00	35,00	35,00	7,00	14,00
	Tiempo de vida media (t1/2, años):	$h = \ln(2)/k$	6,93	13,86	34,66	69,31	34,66	34,66	6,93	13,86
	exp1	exp(-k)	0,90	0,95	0,98	0,99	0,98	0,98	0,90	0,95
DOC	Gg C/Gg desechos	0,15	0,20	0,40	0,43	0,24	0,24	0,05	0,00	
DOCf	DOCf	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Inicio del proceso en el año de deposición (Mes)	M	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	
exp2	$\exp(-k*((13-M)/12))$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Fracción de CH ₄	F	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	

Fuente: elaboración propia con revisión del Modelo Colombiano de Biogás Versión 1.0 y la fuente de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5. Desechos.

Para ajustar algunos parámetros utilizados en la metodología del IPCC al clima colombiano se ha utilizado los índices de generación de metano del Modelo Colombiano de Biogás Versión 1.0. Este modelo, también basado en el método de descomposición de primer orden (FOD) permite matizar parámetros por regiones climáticas colombianas que en la metodología del IPCC serían homogéneos para toda Colombia.

En estos cálculos intervienen distintos parámetros relativos a factores que determinan la cantidad de metano producido descritos anteriormente. Estos parámetros varían según la fracción de residuo y la ubicación del relleno sanitario en las regiones climáticas del Modelo Colombiano de Biogás y se recogen en una matriz independiente. Los valores de k asignados a cada una de las categorías también varían con base a la precipitación promedio anual en el clima de la región donde está ubicado el relleno sanitario:

1. Excesivamente Húmedo (precipitación > 2,000 mm/año) (pacífica)
2. Húmedo (precipitación 1,500-1,999 mm/año) (amazónica)
3. Moderadamente Húmedo (precipitación 1000-1499 mm/año)
4. Moderadamente Seco (precipitación 500-999 mm/año)
5. Seco (precipitación <500 mm/año)

Para clasificar el clima de cada uno de los rellenos se han utilizado datos de promedios de precipitación por departamento de los años 1981-2010 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. La regionalización del clima de cada relleno se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20: Regionalización del clima de cada relleno sanitario según Modelo Colombiano de Biogás y datos del Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales.

Relleno	Departamento	Precipitación (mm)	Clima
Doña Juana	Bogotá D.C.	890,42	4
Pradera	Antioquia	2.698,93	1
Nuevo Monodoñedo	Cundinamarca	1.177,39	3
El Carrasco	Santander	2.093,84	1
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	Norte de Santander	1.619,93	2
Regional Presidente	Valle del Cauca	2.358,38	1
La Glorita	Risaralda	2.401,95	1
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	Tolima	1.804,57	2
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	Nariño	1.983,91	2
Parque Ambiental Pírgua	Boyacá	1.569,10	2
La Esmeralda	Caldas	2.384,39	1
Parque Ambiental Andalucía	Quindío	2.162,10	1
Los Picachos	Cauca	2.209,43	1
Parque Ambiental Los Pocitos	Atlántico	928,94	4
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	Bolívar	1.644,39	2

Relleno	Departamento	Precipitación (mm)	Clima
Loma Grande	Córdoba	1.520,43	2
Parque Ambiental Palangana	Magdalena	1.522,14	2
Los Corazones	Cesar	1.454,82	3
El Oasis	Sucre	1.606,48	2
El Clavo	Atlántico	928,94	4
Parque Ecológico Reciclante	Meta	2.913,05	1
Colomba - El Guabal de Yotoco	Valle del Cauca	2.358,38	1

Fuente: elaboración propia

La relación entre el tipo de clima y los valores del parámetro k según las distintas fracciones y su velocidad de degradación es la siguiente:

Tabla 21: Parámetro k según tipología de clima del Modelo Colombiano de Biogás

Clima/Degradación Residuo	Muy rápida	Rápida	Lenta	Muy lenta
1 Excesivamente Húmedo	0,4	0,17	0,07	0,035
2 Húmedo	0,34	0,15	0,06	0,03
3 Moderadamente Húmedo	0,26	0,12	0,048	0,024
4 Moderadamente Seco	0,18	0,09	0,036	0,018
5 Seco	0,1	0,05	0,02	0,01

Nota: Residuos de degradación muy rápida – residuos alimenticios, otros orgánicos, pañales. Residuos degradación moderadamente rápida – residuos vegetales, poda de casas o parques municipales, papel higiénico. Residuos degradación moderadamente lenta – papel, cartón, textiles. Residuos degradación muy lenta – madera, caucho, piel, huesos, paja.

El sumatorio del conjunto de emisiones de metano generadas para cada fracción para un mismo relleno sanitario se realiza para cada año proyectado hasta 2030 y **se contrapone al metano aprovechado anual para generar una línea base específica para cada relleno sanitario**. Al totalizar el conjunto de rellenos sanitarios se puede establecer la línea base del sector.

En cuanto a la **recuperación de metano**, algunos de los rellenos sanitarios considerados en el establecimiento de la línea base de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales disponen de una o varias tecnologías de recuperación de CH₄ o mitigación de emisiones de GEI, que generan reducciones de CO_{2eq}, tal y como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 22: Reducciones anuales de CO_{2eq}. Mediante la recuperación de metano

Mton CO ₂ Eq.	Doña Juana	Parque Tecnológico Ambiental Antanas	Pradera	Regional Presidente
2009	0,08	0,01	0,13	
2010	0,43	0,02	0,13	
2011	0,98	0,02	0,22	
2012	0,35		0,17	
2013	0,34		0,07	
2014	1,16		0,19	
2015	0,62		0,05	
2016	0,46		0,05	
2017	0,51		0,05	
2018	0,42		0,05	
2019	0,42		0,05	0,08
2020	0,42		0,05	0,08
2021	0,42		0,05	0,08
2022	0,42		0,05	0,08
2023	0,42		0,05	0,08
2024	0,42		0,05	0,08
2025	0,42		0,05	0,08
2026	0,42		0,05	0,08
2027	0,42		0,05	0,08
2028	0,42		0,05	0,08
2029	0,42		0,05	0,08
2030	0,42		0,05	0,08

Fuente: en visitas técnicas del año 2018, mediante la encuesta a rellenos sanitarios o de datos de reducciones reportadas en proyectos presentados al Clean Development Mechanism)

Los datos han sido obtenidos en visitas técnicas del año 2018, mediante la encuesta a rellenos sanitarios o de datos de reducciones reportadas en proyectos presentados al Clean Development Mechanism¹¹ (CDM)). No constan datos de recuperaciones anteriores al 2009 y la estimación para años futuros se hace con base a las respuestas del formulario por parte de los gestores de los rellenos sanitarios.

La recuperación de CH₄ mediante estas tecnologías debe declararse sólo cuando se disponga de referencias que documenten la cantidad de CH₄ recuperado. Por lo tanto, se ha solicitado a los rellenos sanitarios mediante el cuestionario desarrollado en el marco del proyecto, información sobre el estado de implementación de la tecnología, así como sobre la cantidad de CH₄ recuperado con la misma. De la misma forma solo se contabilizan reducción de CO_{2eq} de proyectos presentados al CDM

¹¹ <https://cdm.unfccc.int/Projects/index.html>

cuando se han reportado informes de reducción periódicos y se toma como valido el valor reflejado en ese informe en detrimento del reflejado en el documento del proyecto inicial.

Supuestos de cálculo de la BAU

La metodología de cálculo utilizada para definir la línea base incluye supuestos propios de la metodología del IPCC de descomposición de primer orden y del Modelo Colombiano de Biogás descritos en apartados anteriores como son el periodo de vida de los residuos o índice de degradación de residuos orgánicos común según fracción, factor de corrección de metano fijo según práctica de manejo e índice de generación de metano según tipo de clima y fracción de residuo.

También se han utilizado supuestos propios para determinar los valores anuales de las variables principales utilizados en la metodología del IPCC y en el Modelo Colombiano de Biogás. Estos están descritos en los apartados anteriores y se resumen en:

1. Supuesto de evolución futura de la población municipal según las proyecciones de población incluidas en el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV 2018).
2. Supuesto de evolución futura del ratio residuo por habitante según tendencia observada teniendo en cuenta los residuos históricos tratados de cada municipalidad y su población (CNPV 2018). La tendencia del ratio se proyecta a futuro suponiendo el mismo comportamiento observado y no se asume como fijo el ratio actual ni el promedio histórico.
3. Supuesto de cumplimiento de políticas públicas de gestión de residuos. Se asume el cumplimiento de los objetivos fijados en el Plan Nacional de Desarrollo del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio del Servicio público de aseo a través de los indicadores de porcentaje de residuos sólidos urbanos dispuestos adecuadamente y porcentaje de hogares con servicio de recolección de basuras. Se asume además que la variación de los indicadores hasta el objetivo planteado es lineal, es decir el cambio logrado se consigue de forma uniforme o a la misma velocidad durante el periodo temporal. Se asume que el valor del indicador planteado como objetivo se cumplirá, pero no se superará. También se aplica el mismo supuesto para la Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos establecida como meta de la Política Nacional de Crecimiento Verde.
4. Supuesto de continuidad de las políticas públicas de gestión de residuos. Además del cumplimiento de las políticas expuestas en el supuesto anterior en la metodología utilizada se asume que las políticas públicas futuras de gestión de residuos continuarán en la línea de las planteadas en el presente y con el mismo grado de ambición. Esta consideración implica que no solo se asume el cumplimiento de meta de gestión de residuos actual, sino que se asume que se planteará una nueva meta futura, mediante el mismo indicador o parámetro, con el mismo grado de mejora logrado y que se logrará de forma lineal y con el valor exacto propuesto en la nueva política.
5. La consecución de las políticas públicas de gestión de residuos y la continuidad supuesta de estas se logran de manera homogénea en todo el país de forma que los cambios afectan de igual manera a todos los rellenos.
6. La composición futura de los residuos de cada relleno únicamente varía respecto a la definida para cada relleno según su histórico a través de consecución de las políticas públicas de gestión de residuos como la Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos.

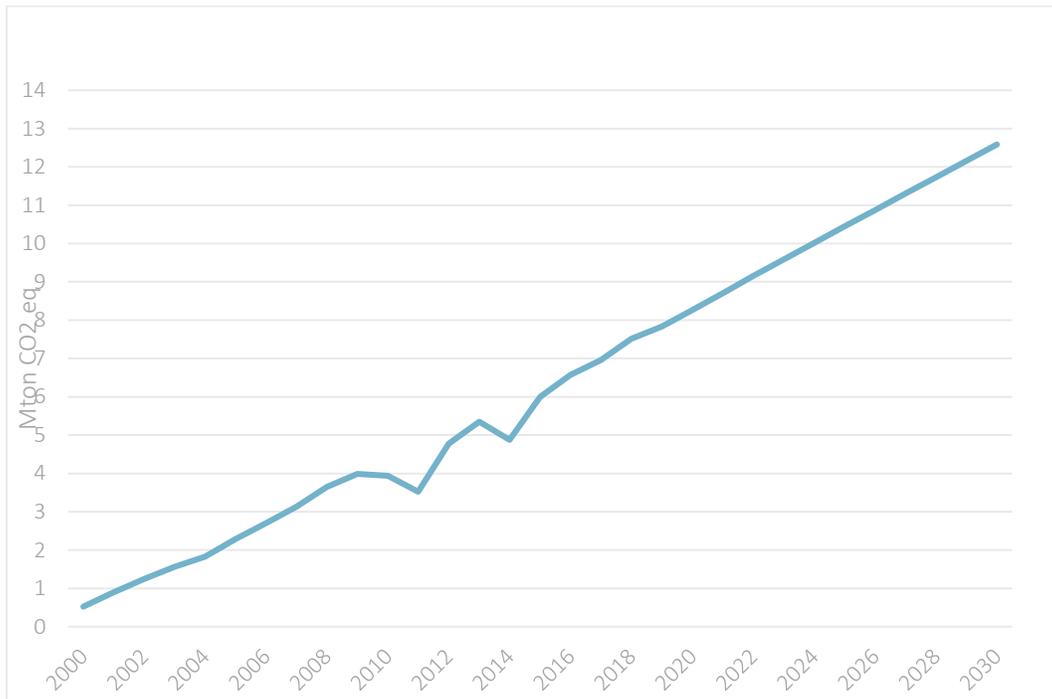
7. El índice de generación de metano según tipo de clima y fracción de residuo definido a partir del Modelo Colombiano de Biogás para cada relleno sanitario en función de su ubicación, los datos climáticos históricos se supone fijo en el futuro. No se incluyen proyecciones de cambio climático que modifiquen las normales climáticas de la localización de relleno y que afecten a los parámetros del modelo.

Resultados

Las emisiones estimadas de metano de los sitios de eliminación de desechos sólidos que determinan la línea base de emisiones de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales se muestran en la Gráfica 10. **Se estima que las emisiones actuales (2020) del total de rellenos sanitarios analizados son de 8,26 Mton de CO₂ equivalente anuales y ascenderán en los próximos años hasta alcanzar los 12,59 Mton de CO₂ equivalente anuales en 2030.**

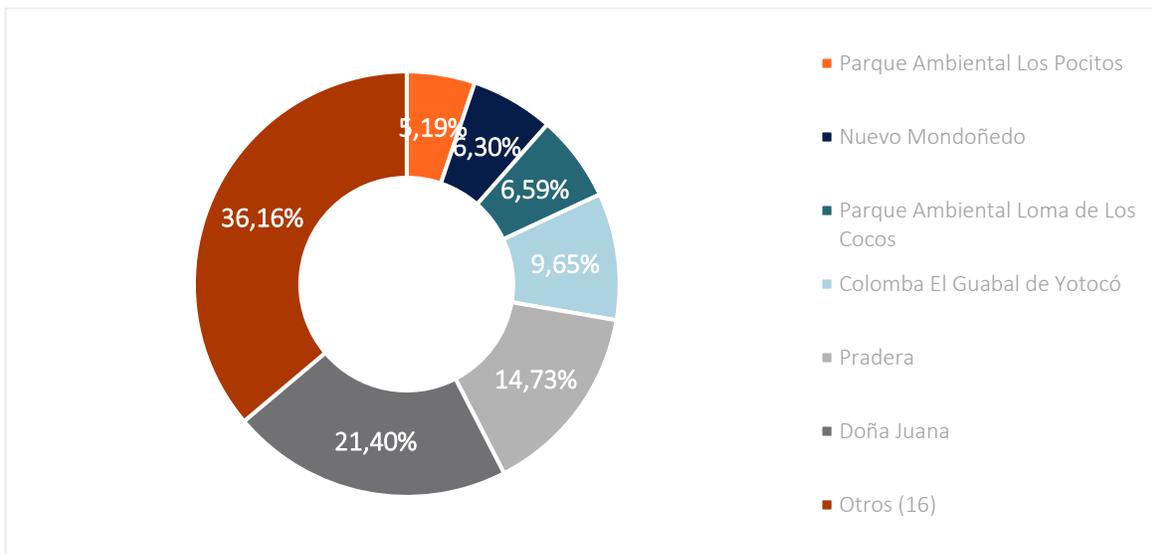
La contribución al total de emisiones es notablemente desigual entre rellenos sanitarios tal como muestra la Gráfica 11. El principal aportador de emisiones es claramente el relleno sanitario Doña Juana. Su alto volumen de residuos tratados hace que la producción de metano prevista alcance los 2,69 Mton de CO₂ equivalente anuales en 2030, un 21,4% del total previsto en el conjunto de 22 rellenos sanitarios. También destacan las aportaciones de los rellenos sanitarios Pradera y El Guabal de Yocotó con 1,85, y 1,21Mton de CO₂ equivalente anuales en 2030 respectivamente. Estos 2 rellenos sanitarios aportan el 24,37 % de las emisiones previstas en la línea base y junto al de Doña Juana representan el 45,78% del total de emisiones previstas. En un segundo nivel los rellenos de Parque Ambiental Los Pocitos, Parque Ambiental Loma de Los Cocos y Nuevo Mondoñedo aportan cada uno entre el 5 y el 7% de emisiones totales mientras que el resto de 16 rellenos agrupados aportan el 36,16%.

Gráfica 10: Emisiones línea base totales (Mt CO_{2eq})



Fuente: elaboración propia de la consultoría

Gráfica 11: Emisiones línea base por relleno sanitario



Fuente: elaboración propia de la consultoría

8.2 Potenciales de Calentamiento

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) utiliza el concepto de potencial de calentamiento global (PCG) para comparar la capacidad que distintos gases tienen para atrapar el calor en la atmósfera en comparación con el dióxido de carbono.

La metodología empleada para el cálculo de las emisiones de CH₄ se basa en el método de descomposición de primer orden, para el cual no se usan factores de emisión propiamente dichos, sino varios componentes del modelo FOD, que se detallan en la Tabla 17.

Las emisiones de un determinado gas de efecto invernadero pueden ser comparadas entre sí teniendo como base el potencial estimado para provocar calentamiento, por lo que se ha desarrollado factores llamados Potenciales de Calentamiento Global (PCG), los cuales son utilizados para convertir una cantidad específica de un Gas de Efecto Invernadero (GEI) diferente al Dióxido de Carbono (CO₂) en una cantidad determinada de “Dióxido de carbono Equivalente” (CO_{2eq}) a través de un equivalente en potencial de calentamiento. Para efectos del metano (CH₄) el poder o potencial calorífico es 28 veces mayor respectivamente con base en el dióxido de carbono (CO₂), según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático (AR5).

8.3 Escenarios de implementación y operación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

Metodología

Para la estimación de las emisiones en aplicación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales se definió un marco conceptual que permite identificar las diferentes rutas de acción en los sitios de disposición evaluados.

Este marco incluye inicialmente, la descripción de las distintas alternativas de acción en la disposición de residuos sólidos dependiendo de la naturaleza e historia de cada sitio, toma en cuenta los esfuerzos y tipología actual de tratamiento en los sitios priorizados. Se indica en la Tabla 23 la descripción del tratamiento actual en cada caso.

Tabla 23. Acciones de tratamiento realizadas actualmente por cada sitio de disposición de residuos

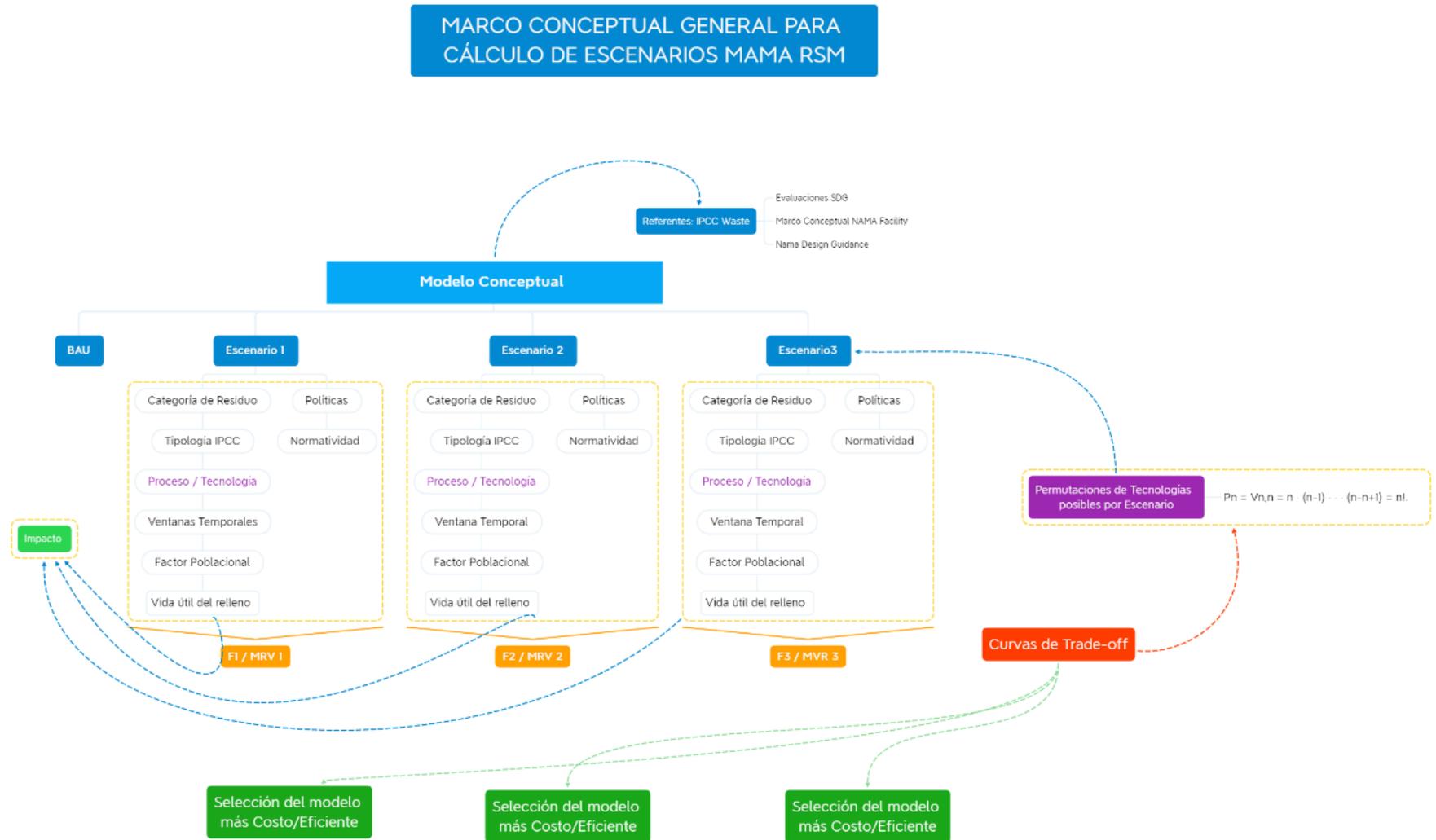
Lugar de Disposición	Actividad actual de tratamiento reportada
Los Picachos	NINGUNA
Parque Ambiental Andalucía	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
Parque Ambiental Pírgua	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
El Oasis	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
Parque Ambiental Palangana	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Los Corazones	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Loma Grande	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	Tratamiento Mecánico Biológico. Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.

Lugar de Disposición	Actividad actual de tratamiento reportada
La Esmeralda	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
Regional Presidente	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Parque Ecológico Reciclante	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás. Tratamiento Mecánico
Sitio de disposición final El Carrasco	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
El Clavo	NINGUNA
La Glorita	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Parque Ambiental Los Pocitos	Sistemas de manejo y aprovechamiento de biogás.
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	Sistemas de manejo y aprovechamiento de biogás.
Colomba El Guabal de Yotocó	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Nuevo Mondoñedo	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás.
Pradera	Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
Doña Juana	Sistemas de manejo y aprovechamiento de biogás.

Fuente: elaboración propia

El marco conceptual, busca identificar las especificidades de evaluación para cada caso, así como identificar las mejores rutas probables en términos de escenarios de implementación. Este marco se muestra en la Gráfica 12. Parte de considerar las acciones detalladas de cada uno de los sitios de disposición, así como la identificación previamente realizada en el modelo BAU (Tipologías IPCC, ventanas temporales de vida, vida útil del sitio) de sus elementos estructurales. A su vez, el modelo proyecta la identificación de las curvas que permitan identificar las opciones de abatimiento, que serán tenidas en cuenta a su vez para el diseño del sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación y de las valoraciones financieras.

Gráfica 12: Modelo de Marco Conceptual para el diseño de Escenarios NAMA RSM



Supuestos para Escenarios

La metodología de cálculo utilizada para definir los escenarios toma la línea base como insumo único e incluye por defecto los supuestos propios de la metodología del IPCC de descomposición de primer orden y del Modelo Colombiano de Biogás.

Los principales elementos supuestos para los cálculos se resumen en:

- Los escenarios se construyen a partir de las tecnologías propuestas para cada relleno sanitario que se detallan en la Tabla 24.
- Los escenarios se presentan de forma independiente y parten del supuesto de acción independiente a partir de la línea base. De esta forma cada escenario evidencia el esfuerzo de captura de forma individual.
- Para el escenario 2 que aborda el tratamiento de la fracción orgánica que llega a los rellenos sanitarios, se define un potencial de tratamiento máximo del 4% de dicha fracción, atendiendo esto a las limitaciones en la comercialización de grandes cantidades del producto “compost”.
- Para el escenario 3 que aborda el tratamiento de los residuos llamados “no aprovechables”, se define que el potencial de tratamiento máximo es del 100% de los residuos frescos que llegan al relleno sanitario. Por la alta capacidad de procesamiento de grandes cantidades de residuos de la tecnología WtE y el bajo el tiempo de procesamiento (del orden de horas).
- Al igual que la línea base, la composición futura de los residuos de cada relleno únicamente varía respecto a la definida para cada relleno según su histórico a través de consecución de las políticas públicas de gestión de residuos como la Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos.
- Los modelos suponen datos climáticos históricos fijos para el futuro, basados en la línea base.
- No se incluyen proyecciones de cambio climático que modifican las condiciones climáticas.

Cada escenario propuesto tipifica una solución en base a la situación actual de los rellenos sanitarios, acorde con los objetivos del desarrollo de la NAMA RSM

- El **escenario 1**, propone la acción viable técnicamente, que da continuidad al desarrollo que actualmente tiene cada sitio de disposición. Para este escenario, en algunos clústeres por tipología se propone uno o varias acciones y transformaciones tecnológicas. Este escenario se focaliza en la reducción de GEI ocasionado en los rellenos sanitarios por los residuos que ya han sido dispuestos.
- El **escenario 2**, concentra su acción en mitigar los GEI ocasionados por la fracción de residuos frescos de origen vegetal, aquellos que de acuerdo con la resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible deben ir en bolsa verde.
- El **escenario 3**, propone la acción más contundente frente a la reducción de GEI. Este escenario será el más ambicioso frente a esfuerzos tecnológicos y financieros. El escenario tres tiene el foco en mitigar los GEI producidos por la fracción de residuos “no aprovechables”, que llegan en bolsa negra a los rellenos sanitarios.

Se considera importante aclarar que, aunque los escenarios se construyeron de forma independiente, en cuanto a costos y reducción de emisiones, en la realidad la mayor mitigación se lograría al implementar los 3 en su conjunto.

Para la implementación de las acciones de mitigación contempladas en los 3 escenarios definidos y descritas en el capítulo 9, se establecieron **dos líneas estratégicas de mitigación** que contienen las diversas acciones de la NAMA RSM de Colombia, como se ilustra a continuación:

I Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

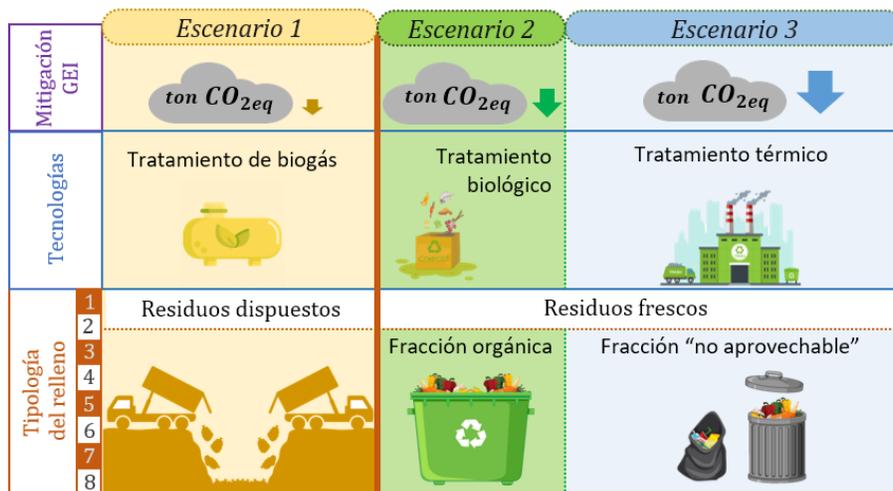
- RGV+Q: RGV y quema. Promover e implementar en los rellenos sanitarios, que no tengan, la recolección de los gases y su quema.
- RGVQ+AE: RGV con quema y aprovechamiento energético del Biogás. Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.
- OAEB Optimización de aprovechamiento energético del Biogás: Para aquellos rellenos sanitarios que ya poseen un sistema de aprovechamiento energético del biogás se propone realizar un diagnóstico y optimización del sistema de aprovechamiento.

II Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final.

- TM+OBC: Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje. Mantener y fomentar los sistemas existentes de TM o separación en la fuente + tratamiento biológico y compostaje.
- TM + BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje. Mantener y promover los sistemas existentes de TM ó separación en la fuente + compostaje.
- WtE, termovalorización eléctrica: Fomentar y promover la implementación de plantas de aprovechamiento energético de los RSM como alternativa y complemento a los rellenos sanitarios.

En la siguiente gráfica se aprecia el modelo de mitigación construido:

Gráfica 13: Modelo de Mitigación NAMA RSM



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la identificación de la naturaleza de cada relleno sanitario, se identificaron 8 tipologías de sitios de disposición, que se agrupan en clústeres que comparten características afines (población atendida, tipologías de tecnologías presentes o no, toneladas de residuos dispuestos).

A continuación, en la Tabla 24, se aprecia la relación entre las tipologías, los rellenos sanitarios que constituyen cada una de ellas, y las tecnologías específicas propuestas para cada sitio de disposición final en cada uno de los escenarios.

Tabla 24: Escenarios de la NAMA RSM por tipologías

Tipología	No. de Sitios	Nombres	Tecnologías Escenario 1	Tecnologías Escenario 2	Tecnologías Escenario 3
1	1	Los Picachos	RGV+Q: Recolección de gases de vertedero y quema. RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje.	
2	4	Parque Ambiental Andalucía, Parque Ambiental Pírgua, Oasis, Parque Tecnológico Antanas	RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM + BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje .	
3	9	Parque Ambiental Palangana, Los Corazones, Loma Grande, La Esmeralda, Regional Presidente, Sitio de disposición final El Carrasco, La Glorita, Parque Tecnológico Ambiental Guayabal. La Miel	RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje .	WtE, termovalorización eléctrica
4	1	Parque Reciclante. Ecológico	RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM+OBC: Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje	WtE, termovalorización eléctrica

Tipología	No. de Sitios	Nombres	Tecnologías Escenario 1	Tecnologías Escenario 2	Tecnologías Escenario 3
5	1	El Clavo	RGV+Q: Recolección de gases de vertedero y quema, luego RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje .	WtE, termovalorización eléctrica
6	2	Parque Ambiental Los Pocitos (opt), Parque Ambiental Loma de Los Cocos (opt),.	OAEB: Optimizar el aprovechamiento del biogás captado	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje .	WtE, termovalorización eléctrica
7	3	Colomba El Guabal de Yotocó, Pradera, Mondoñedo	RGVQ+AE; APROVECHAMIENTO RGV	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje .	WtE, termovalorización eléctrica
8	1	Doña Juana	OAEB: Optimizar el aprovechamiento del biogás captado	TM + BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje	WtE, termovalorización eléctrica

Fuente: Elaboración propia consultoría.

A partir del desarrollo del modelo BAU, basados en las fichas y lineamientos del IPCC 2006, con la metodología de Descomposición de Primer Orden (FOD por sus siglas en inglés), se genera el desarrollo de los escenarios, que toma en cuenta la categorización de estas tipologías, para el cálculo de los diferentes escenarios se da paso a los cálculos y valoraciones de curvas de reducción para cada caso. Como una de las alternativas de generación de los cálculos, basados igualmente en la metodología FOD se utiliza la herramienta denominada MRS-GEI, la cual ha sido desarrollada por el instituto IFEU, patrocinada por el Banco de Desarrollo KfW (Cooperación Financiera Alemana), en cooperación con la GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo) y financiada con fondos aportados por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania. El **modelo implementado**

toma como base los fundamentos y lineamientos utilizados en el país, basados en la estructura de IPCC 2006 y en concordancia con la forma de cálculo intrínseca de este. La herramienta permite visualizar de forma práctica bajo este modelo base, las rutas por cada uno de los escenarios en una sola mirada de tal forma que evidencia de forma comparativa las ventajas en cada caso aplicado. De esta forma el modelo está validado intrínsecamente en la medida en que utiliza tanto los parámetros como la estructura base de cálculo para residuos planteada por el IPCC¹².

El objetivo de esta "herramienta para calcular las emisiones de GEI en el manejo de residuos sólidos" (calculadora MRS-GEI) es el de facilitar el cálculo para la toma de decisión y la comprensión de los impactos del manejo adecuado de los residuos en las emisiones de GEI.

La calculadora MRS-GEI permite la cuantificación y la comparación de las emisiones de gas de efecto invernadero de diferentes estrategias de manejo de residuos en una fase temprana en el proceso de decisión. La herramienta plantea valores por defecto por parte del diseñador y permite ajustes particulares como en el caso de NAMA RSM Colombia para datos derivados de la línea base local. Para Colombia, tenemos la favorabilidad de valores específicos y con menor incertidumbre derivados del modelo BAU robusto y gestionado directamente con las entidades generadoras de los datos e información dando continuidad al proceso de trazabilidad de Descomposición de Primer Orden. Para nuestro caso, se han utilizado los valores obtenidos a partir de estas indagaciones, con lo cual la información resultante estará bajo escenarios de las menores incertidumbres.

Como línea general, el método de cálculo utilizado en la calculadora MRS-GEI sigue el método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El método permite que los sitios puedan ser comparados calculando las emisiones de GEI de las diferentes fracciones de residuos recicladas (por lo general vidrio, papel y cartón, plásticos, metales, residuos orgánicos) y dispuestas durante todo su ciclo de vida.

La herramienta suma las emisiones de todos los residuos o de flujos de reciclaje, respectivamente, y calcula las emisiones totales de GEI en equivalentes de CO₂. Las emisiones calculadas incluyen también todas las futuras emisiones causadas por una determinada cantidad de residuos tratados dependientemente de los datos gestionados en el BAU (Línea Base). Esto significa que cuando los residuos se envían a rellenos sanitarios, por ejemplo, las emisiones calculadas de GEI, dadas en toneladas equivalentes de CO₂ por tonelada de residuos, incluyen las emisiones acumuladas generadas durante la degradación de residuos. En la herramienta se incorporan las emisiones de años anteriores basados en el cálculo de la línea base para 2030. Este método corresponde al enfoque "Nivel 1" (Tier 1) descrito en el IPCC (1996, 2006). Hasta cuatro diferentes sistemas de manejo de residuos pueden ser comparados con la calculadora MRS-GEI; además del BAU, se incluyen tres escenarios definidos anteriormente y pueden ser analizados de forma simultánea. Permite a su vez la facilidad de ajustar los modelos de acuerdo con el interés y posibilidades de cada uno de los sitios si posteriormente al cálculo se quieren presentar ajustes, esto es, hacer cálculos con diferentes cantidades de residuos o composiciones.

¹² De la comparación del cálculo de las emisiones de GEI del escenario BAU utilizando los dos métodos de cálculo (IPCC volumen 5, eliminación de desechos *versus* calculadora MRS-GEI) se evidencia que las desviaciones entre los dos modelos son mínimas ($R^2=1$). Ver anexo 6, documento "Salida estadística escenarios2".

Los resultados que surgen permiten una aproximación cuantitativa suficientemente precisa de los impactos climáticos de las diferentes estrategias sugeridas por escenario, como una importante contribución a la toma de decisiones tanto de forma global como para cada sitio evaluado.

Para comprender un poco más el modelo, es importante subrayar que la composición de los residuos es uno de los principales factores que influyen en el cálculo de las emisiones de GEI procedentes del tratamiento de residuos sólidos (Se especifican las fracciones por tipología de residuo en la Tabla 25, debido a que diferentes fracciones de residuos contienen diferentes cantidades de carbono orgánico regenerativo y / o degradable (COD) y carbono fósil. Otro aspecto importante es el valor calorífico (Tabla 26), que varía en función de la composición de los residuos, dado que, por lo general, entre mayor sea el contenido de residuos orgánicos en los residuos sólidos municipales, menor será el valor calorífico por causa del mayor contenido de agua de los residuos.

Tabla 25. Contenido de carbono de fracciones de residuos – Carbono total y fósil (IPCC 2006)

	Total C	Fósil C	
Residuos de Comidas	15,2%	0%	% de residuos húmedos
Residuos de Parques y Jardines	19,6%	0%	% de residuos húmedos
Papel, cartón	41,4%	1%	% de residuos húmedos
Plásticos	75,0%	100%	% de residuos húmedos
Vidrio	0%	0%	% de residuos húmedos
Metales Ferrosos	0%	0%	% de residuos húmedos
Aluminio	0%	0%	% de residuos húmedos
Textiles	40,0%	20%	% de residuos húmedos
Hule, piel	56,3%	20%	% de residuos húmedos
Panales (Panales desechables)	28,0%	10%	% de residuos húmedos
Madera	42,5%	0%	% de residuos húmedos
Residuos Minerales	0,0%	0%	% de residuos húmedos
Otros	2,7%	100%	% de residuos húmedos

Fuente: IPCC, 2006.

Tabla 26. Valor calorífico de fracciones de residuos

Fracción	Valor Calorífico	
Residuos orgánicos, bajo contenido de agua	4	MJ/kg residuo húmedo
Residuos orgánicos, alto contenido de agua	2	MJ/kg residuo húmedo
Papel	11,5	MJ/kg residuo húmedo
Plásticos	31,5	MJ/kg residuo húmedo
Vidrio	0	MJ/kg residuo húmedo
Metales	0	MJ/kg residuo húmedo
Textiles, hule, piel	14,6	MJ/kg residuo húmedo
Madera	15	MJ/kg residuo húmedo
Residuos minerales	0	MJ/kg residuo húmedo
Otros bajo contenido de agua	8,4	MJ/kg residuo húmedo
Otros alto contenido de agua	5	MJ/kg residuo húmedo

Fuente: (AEA 2001), madera: estimación de IFEU

Fuente: AEA 2001.

Los anteriores procesos se armonizaron para calcular los distintos escenarios propuestos para cada clúster sugerido y tienen como base los factores de emisión que se recogen en el Anexo 6.

Potencial de reducción de GEI para cada una de las medidas

Basados en los cálculos realizados bajo las metodologías descritas anteriormente, se generó el potencial de reducción de GEI para cada uno de los sitios de disposición en tres escenarios partiendo del BAU. En la Tabla 27 se describen los resultados por quinquenios para cada uno de los sitios de disposición, con el fin de armonizar con las fechas de reporte para la NDC nacional e identificar potenciales individuales por proyecto. Nótese que el potencial de mitigación está referido a la diferencia entre el escenario BAU y los escenarios alternativos. El valor encontrado en cada escenario muestra la proyección del esfuerzo de implementación de las distintas tecnologías aplicadas por tipología. Este valor permite cuantificar y planificar hacia el año 2030 con respecto a la línea base establecida.

Tabla 27 ton CO_{2eq} por escenarios y porcentaje de reducción por sitios de disposición a 2030

RELLENO SANITARIO	Escenarios 2030 (ton CO _{2eq})				%		
	BAU	ESC1	ESC 2	ESC3	ESC1	ESC 2	ESC3
Doña Juana	2.693.812	1.808.433	1.787.625	428.176	32,9%	33,6%	84,1%
Pradera	1.853.703	1.231.833	1.216.675	801.150	33,5%	34,4%	56,8%
Colomba El Guabal de Yotocó	1.214.004	891.287	881.070	575.022	26,6%	27,4%	52,6%
Parque Ambiental Los Pocitos	652.741	461.764	456.127	241.708	29,3%	30,1%	63,0%
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	828.866	562.382	555.471	339.144	32,2%	33,0%	59,1%
Nuevo Mondoñedo	792.713	529.632	590.096	391.477	33,2%	25,6%	50,6%
Sitio de disposición final El Carrasco	368.035	191.092	189.048	90.779	48,1%	48,6%	75,3%
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	429.256	268.951	266.288	172.017	37,3%	38,0%	59,9%
Regional presidente	321.490	205.047	203.074	191.612	36,2%	36,8%	40,4%
La Glorita	458.912	338.590	334.357	209.275	26,2%	27,1%	54,4%
Loma Grande	350.647	234.490	231.419	975	33,1%	34,0%	99,7%
Parque Ecológico Reciclante	356.178	201.719	199.620	119.485	43,4%	44,0%	66,5%
Parque Ambiental Palangana	229.971	171.208	169.506	74.101	25,6%	26,3%	67,8%
Los Corazones	240.239	174.396	172.480	63.804	27,4%	28,2%	73,4%
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	271.920	194.441	192.028	77.523	28,5%	29,4%	71,5%
El Oasis	185.994	106.922	105.828	-	42,5%	43,1%	
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	195.053	102.119	101.167	-	47,6%	48,1%	
Parque Ambiental Pigua	172.203	108.649	107.226	-	36,9%	37,7%	
La Esmeralda	293.742	180.470	178.292	65.606	38,6%	39,3%	77,7%
Parque Ambiental Andalucía	187.113	187.113	184.611	-	0,0%	1,3%	
Los Picachos	119.887	119.887	119.604	-	0,0%	0,2%	
El Clavo	370.506	370.506	364.823	228.420	0,0%	1,5%	38,3%
TODOS	12.586.985	8.640.931	8.606.434	4.070.272	31,4%	31,6%	67,7%

Potencial de reducción de GEI total de la NAMA

Para la realización de la estimación del potencial de reducción de emisiones de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales de Colombia debe tenerse en cuenta la tipología por sitio de disposición y tecnologías sugeridas en cada caso. En la Tabla 28 se indican los resultados para 22 sitios de

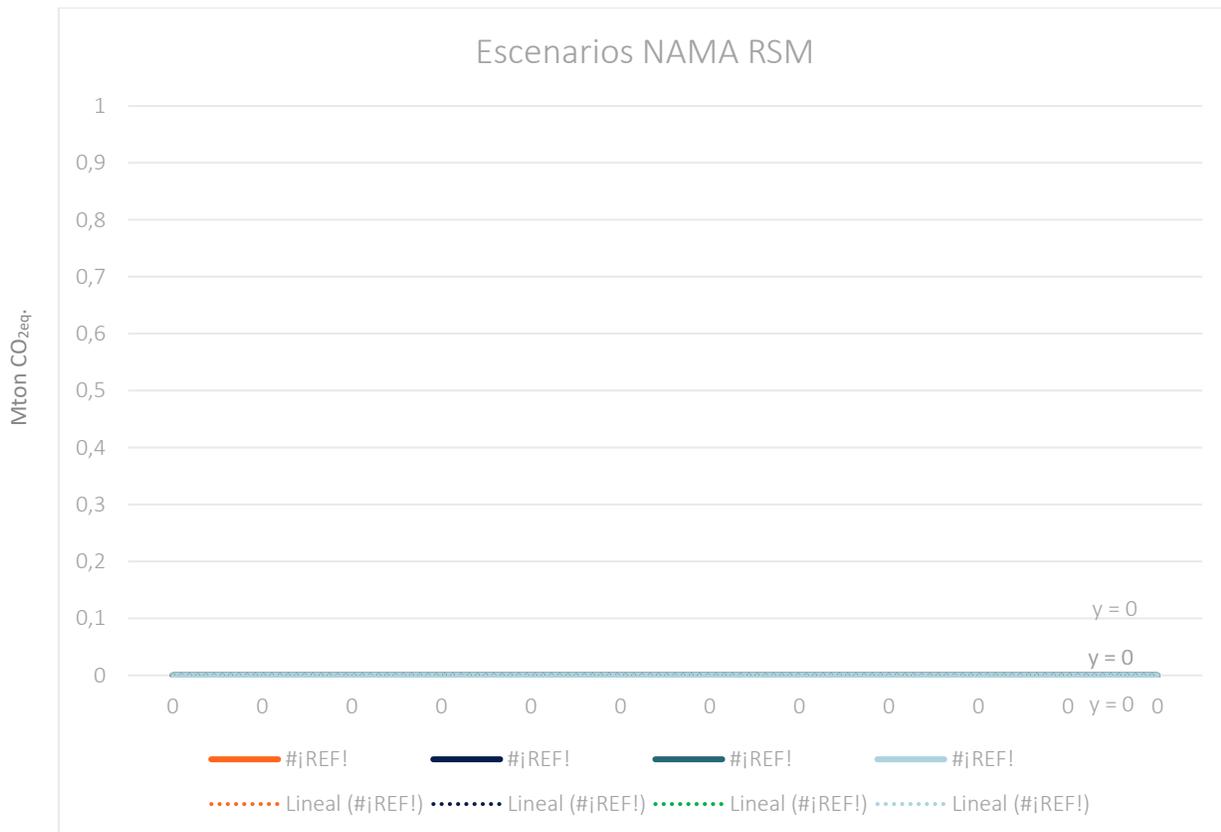
disposición priorizados. Los porcentajes de reducción están indicados al 2030 con respecto al BAU establecido.

Tabla 28 Mton CO_{2eq.} por escenarios para los quinquenios 2025 y 2030.

	Mton CO _{2eq.}			Reducción	%
	2.020	2.025	2.030		
BAU	8,26	10,45	12,59	-	-
ESC1	7,90	8,26	8,64	-3,95	-31,4%
ESC2	7,90	8,25	8,61	-3,97	-31,6%
ESC3	7,49	5,79	4,07	-8,52	-67,7%

El modelo de curvas de reducción global de la NAMA RSM para Colombia se presenta en la Gráfica 14: Escenarios NAMA RSM. Cada una de estas, sintetiza las acciones de mitigación propuestas para cada escenario y recoge las tipologías y clústeres de acciones con proyección al año 2030.

Gráfica 14: Escenarios NAMA RSM



Actualmente cada uno de los sitios de disposición tiene una versión final de cálculo de Escenarios. Estos cálculos retoman las sugerencias y anotaciones recogidas en escenarios de intercambio técnico-académico en los talleres con técnicos e instituciones que permitieron afinar los resultados a la fecha obtenidos. Cada uno de los sitios de disposición se tipifican acorde a la situación actual de desarrollo como proyecto y sobre esta base se plantearon los modelos ya expuestos. En particular, para este apartado se refieren como anexos las hojas de cálculo de cada sitio de disposición (Ver

Anexo 6. Hojas de Cálculo Escenarios), que permitirá identificar la acción para cada uno de los escenarios, acorde a la tipificación expuesta en la Tabla 24.

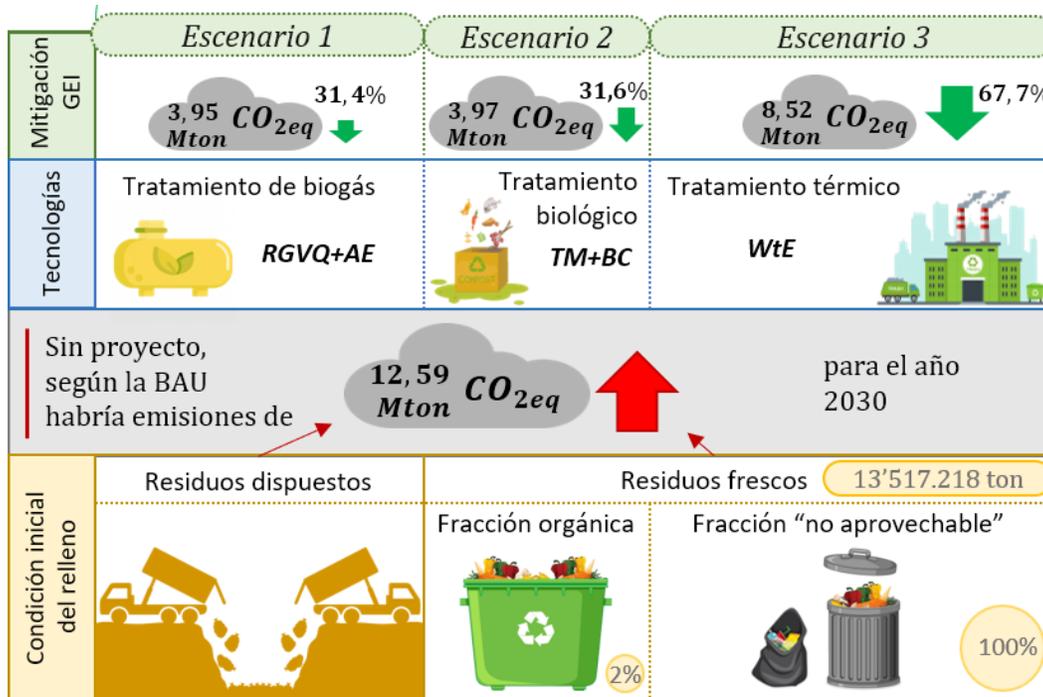
Los resultados aquí obtenidos, fueron contrastados con los de referencia emitidos por la actualización de la NDC nacional. De esta forma se encontró que la propuesta para el caso de actualización el valor cuantificado fue de 13,5 Mton de CO_{2eq} respecto a 12,59 Mton calculadas en la NAMA. Esta diferencia está dentro de un corto rango, debido a la forma en que se establecieron las categorías de cálculo en cada uno de los casos. Este resultado permite evidenciar de igual forma, tanto la identificación de fuentes homólogas y a su vez la modularidad en los cálculos para el uso de la información de tomadores de decisión del sector.

9 Medidas y acciones de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

9.1 Proyectos y acciones de mitigación

Una vez revisada la información recopilada de los distintos sitios de disposición final en el país, la cantidad de residuos que procesan, su impacto ambiental en GEI se construyó el modelo de mitigación NAMA RSM de Colombia representado en la Tabla 24 (Escenarios de la NAMA RSM por tipología), el cual se diagrama a continuación:

Gráfica 15: Diagrama de relación de escenarios de mitigación con las tecnologías y tipos de residuos



Fuente: elaboración propia de la consultoría

Se precisa, que los escenarios planteados no son excluyentes entre sí, sino complementarios. Debido a la naturaleza de los residuos y al enfoque de cada tecnología ellas no compiten entre sí, sino que cada una hace la reducción de emisiones GEI en el campo para la cual fue diseñada. De esta manera, la tecnología de recolección, quema y aprovechamiento del biogás proveniente de los sitios de disposición final, es la única para mitigar los GEI generados por los residuos ya dispuestos. Se considera en dos etapas: recolección y quema para los sitios que no tienen implementado el sistema RGV+Q; y aprovechamiento del biogás generado en los sitios que tienen infraestructura de recolección y quema RGVQ+AE. Incluye además la optimización de los 3 sistemas de aprovechamiento de biogás que ya existen en el país. Este escenario como se aprecia en el diagrama logra una reducción de emisiones de GEI del 31,4% (3,95 Mton CO_{2eq}) con respecto a los GEI emitidos por los rellenos sanitarios, que según la BAU se estiman en 12,59 MtonCO_{2eq} para el año 2030.

La tecnología de Compostaje, como se explicó, en el capítulo 7, se enfoca en el componente de origen vegetal de los RSM, debidamente separados en el origen. Se evaluó con respecto a la tecnología de Biodigestores que también trata la misma fracción de los RSM, y se seleccionó por ser de menor

costo, más apropiada para tratar las cantidades de residuos que generan los municipios y llega a los sitios de disposición final. Según resolución 2184 del 26 de diciembre de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, van en bolsa verde. Los biodigestores, de mayor costo, son ideales y se han utilizado nacional e internacionalmente, con residuos agropecuarios, para pequeñas cantidades. Esta tecnología implica un tratamiento biológico de los residuos, por lo cual sólo procesa los residuos procedentes de corte de césped, poda de árboles y residuos domésticos de origen vegetal correctamente separado en la fuente y depositados en recipientes verdes. Debido a limitaciones en la comercialización de grandes cantidades del producto “compost”, al tiempo necesario de procesamiento (mayor a tres meses) y a los grandes espacios requeridos sólo procesa una mínima cantidad de los residuos frescos que llegan a los rellenos (aproximadamente 2%, (270.344 ton RSM se estima para el año 2030) y logra una mitigación del (3,97 Mton CO_{2eq}), el 31,6% de los GEI que para el año 2030 generarían los rellenos, según la BAU.

La tecnología WtE, constituye la base fundamental del escenario de mitigación número 3. Es la apropiada para los residuos, que de acuerdo con la resolución 2184 del 26 de diciembre de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, van en bolsa o recipiente negro. (Papel higiénico, servilletas, comida preparada, residuos COVID-19 -tapabocas, guantes, etc.). Sus características: capacidad de procesamiento de grandes cantidades de residuos, el tiempo de procesamiento del orden de horas, y una mínima cantidad de espacio ocupado convierten al escenario 3 en el escenario de mayor capacidad de tratamiento, (100% de los RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final), y alcanza la mayor cifra de mitigación 8.516.713 Mton CO_{2eq}, es decir el 67,7% de los GEI que generarían los rellenos sanitarios para el año 2030.

Consistente con lo anterior, para la implementación de las acciones de mitigación se estableció dos líneas estratégicas de mitigación que contienen las diversas acciones de la NAMA RSM de Colombia, como se ilustra a continuación:

I Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

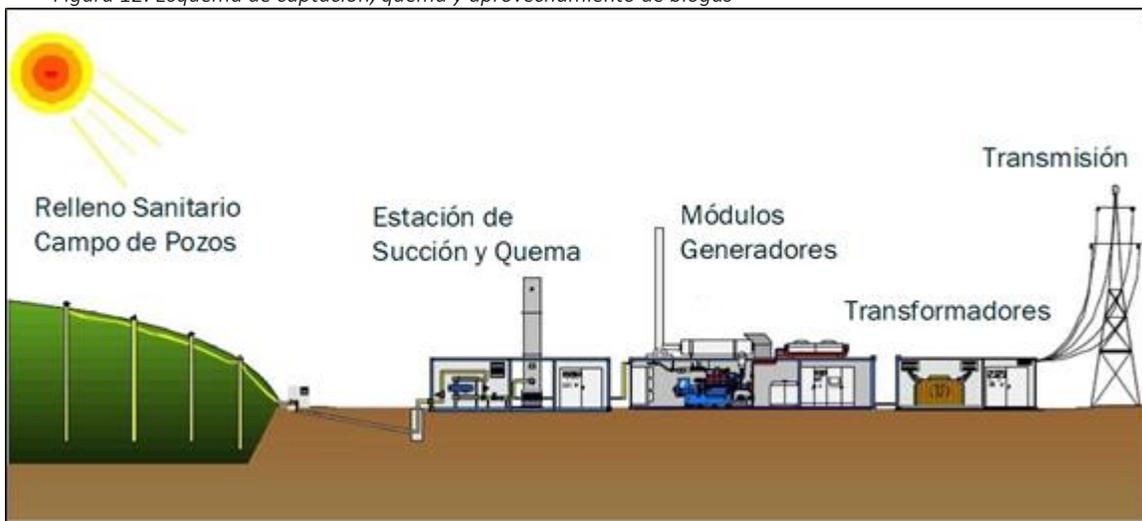
- **RGV+Q: RGV y quema.** Promover e implementar en los rellenos sanitarios, que no tengan, la recolección de los gases y su quema.
- **RGVQ+AE: RGV con quema y aprovechamiento energético del Biogás.** Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.
- **OAEB Optimización de aprovechamiento energético del Biogás.** Para aquellos rellenos sanitarios que ya poseen un sistema de aprovechamiento energético del biogás se propone realizar un diagnóstico y optimización del sistema de aprovechamiento.

Figura 11: Unidad de aprovechamiento de biogás en RS Santa Marta Chile



Fuente: KDM Energia. Santiago de Chile 2012

Figura 12: Esquema de captación, quema y aprovechamiento de biogás



Fuente: KDM Energia. Santiago de Chile 2012.

II Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final

- **TM+OBC: Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.** Mantener y fomentar los sistemas existentes de TM o separación en la fuente + tratamiento biológico y compostaje.

Figura 13: Planta Hochfranken, Alemania.



Fuente: Energy Solutions REHAU Group. 2014

- **TM + BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje.** Mantener y promover los sistemas existentes de TM ó separación en la fuente + compostaje.

Figura 14: Planta de compostaje



Fuente: https://lh5.googleusercontent.com/GNiCJu8wqE/TXLGADeGAHI/AAAAAAAAAJ/qYY_Y_xQX5E/s1600/compostaje_big.jpg

- **WtE, termovalorización eléctrica:** Fomentar y promover la implementación de plantas de aprovechamiento energético de los RSM como alternativa y complemento a los rellenos sanitarios.

Figura 15: Planta Porto Portugal



Fuente: Planta Porto Portugal.

Al cuantificar las acciones propuestas, tendremos como resumen:

Tabla 29: Cantidad de sistemas tecnológicos a implementar

	Tecnología	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
LINEA ESTRATEGICA I (RESIDUOS YA DISPUESTOS)	RGV+Q, recolección de gases de vertedero y quema	2		
	RGVQ+AE, aprovechamiento RGV	19		
	OAEB Optimizar el aprovechamiento del biogás captado	3		
LINEA ESTRATEGICA II (RESIDUOS FRESCOS)	TM+OBC: Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje		1	
	TM+BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje.		21	
	WtE, termovalorización eléctrica			17
	Total sistemas	24	22	17

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia que de los 24 sistemas incluidos en el escenario 1, todos (el 100%) son tecnologías para mitigar los GEI que producen los residuos que ya han sido dispuestos en los rellenos sanitarios (2 sistemas RGV+Q, 19 sistemas GVQ+AE y 3 sistemas de optimización OAEB).

El escenario 2 contiene 22 sistemas, de los cuales 21 son tecnologías de tratamiento de la fracción de origen vegetal de los RSM que llegan a los rellenos TM+BC y 1 sistema de optimización de una planta ya existente TM+OBC).

El escenario 3 lo constituyen 17 sistemas WtE, para mitigar GEI de la fracción de residuos mezclados que llegan a los rellenos en bolsa negra.

En total los sistemas tecnológicos o acciones de mitigación de GEI a implementar en los 3 escenarios son 63.

9.2 Identificación de proyectos y acciones de mitigación

A continuación, se presentan las fichas resumen de las diferentes medidas y acciones propuestas dentro de las líneas estratégicas priorizadas para la NAMA RSM de Colombia.

Para cada una de las medidas propuestas se identifica la siguiente información:

- LINEA ESTRATÉGICA a la que pertenece la acción
- CÓDIGO de la acción
- ACCIÓN (título de la acción)
- MITIGACIÓN, si es una acción de mitigación directa o indirecta
- POTENCIAL DE MITIGACIÓN de emisiones de GEI
- PROCESOS IMPLICADOS dentro de la disposición final de residuos sólidos municipales
- PRINCIPALES BARRERAS para su implementación
- MRV (Medición), indicadores de medición
- CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN (generales, regionales, temporales)
- RECURSOS DE APOYO necesarios para su implementación

I Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

A continuación, se describen las tres acciones de mitigación de GEI para RSM ya dispuestos:

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos
CÓDIGO	RGV+Q
ACCIÓN	RGV y quema Promover e implementar en los rellenos sanitarios, que no tengan, el sistema de recolección de los gases y su quema.
MITIGACIÓN	Directa
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la edad, homogeneidad y caracterización de los residuos dispuestos, por lo cual cada relleno tendrá su particular potencial de mitigación. La acción pretende además incrementar la estabilidad del relleno y por ende aumentar la seguridad de su operación y minimizar el impacto ambiental sobre los alrededores del sitio de disposición.
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de disposición de los residuos y las etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo.
PRINCIPALES BARRERAS	Viabilidad financiera incierta, por los precios de los CERTs.
MRV (Medición)	Cantidad de rellenos sanitarios RS con la medida implementada % de rellenos sanitarios en el país con la medida implementada Cantidad (ton) de Emisiones de CO _{2eq} reducidas por implementación de la medida
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Todos los rellenos, para poder requerir modificación a licencias ambientales, han de implementar este sistema de mitigación de gases efecto invernadero, según decreto 1784 de 2017. Se prioriza la implementación en los rellenos de mayor categoría según el mismo decreto anterior.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización y exhortos, de ser necesario, de las autoridades ambientales al cumplimiento de la normatividad vigente.

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos
CÓDIGO	RGVQ+AE
ACCIÓN	<p>RGV con quema y aprovechamiento energético del Biogás</p> <p>Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás principalmente mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.</p>
MITIGACIÓN	Directa e indirecta y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	<p>El potencial de mitigación depende de la edad y homogeneidad de los residuos dispuestos, y de la composición del biogás captado.</p> <p>La acción pretende además de las ya expuestas para la RVG+Q, generar una mitigación indirecta por no consumo y si producción de energía eléctrica y además una mitigación evitada al poner a disposición de la red eléctrica el excedente de energía.</p>
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de disposición de los residuos y las etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo.
PRINCIPALES BARRERAS	<p>Viabilidad financiera incierta, por los precios de los CERTs y los costos de las unidades de depuración requeridas para implementar el aprovechamiento.</p> <p>Precios del kWh generado, falta de incentivo expreso a este tipo de generación eléctrica.</p> <p>Viabilidad técnica, por el tiempo de captación del biogás, si aún se genera en cantidades suficientes para su explotación económica –fase biológica Metanogénica estable, 2 a 10 años después de haber dispuesto el residuo-</p>
MRV (Medición)	<p>Cantidad de rellenos sanitarios RS con la medida implementada</p> <p>% de rellenos sanitarios en el país con la medida implementada</p> <p>Cantidad (ton) de Emisiones de CO_{2eq} reducidas por implementación de la medida</p> <p>Cantidad de kWh/año generados</p>
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Cantidad y caracterización del biogás generado en el relleno sanitario respectivo
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos
CÓDIGO	OAEB
ACCIÓN	<p>OAEB Optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente</p> <p>Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás principalmente mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.</p>
MITIGACIÓN	Directa e indirecta y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	<p>El potencial de mitigación depende de la cantidad adicional de energía generada al implementar el sistema de optimización.</p> <p>La acción pretende, con base en un diagnóstico del sistema de aprovechamiento de biogás existente diversificar o ampliar la cantidad de biogás aprovechado y por ende la capacidad de generación eléctrica obtenida.</p>
PROCESOS IMPLICADOS	Además del proceso de disposición de los residuos y las etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo depende del sistema y procesos de aprovechamiento de biogás captado que se lleve actualmente.
PRINCIPALES BARRERAS	Precios del kWh generado, falta de incentivo expreso a este tipo de generación eléctrica. Eficiencia del aprovechamiento hasta ahora realizado.
MRV (Medición)	<p>Cantidad de rellenos sanitarios RS con la medida implementada</p> <p>% de rellenos sanitarios en el país con la medida implementada</p> <p>Cantidad (ton) de Emisiones de CO_{2eq} reducidas por implementación de la medida</p> <p>Cantidad de kWh/años adicionales generados</p>
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Es una acción propuesta para los rellenos que ya disponen de un sistema de aprovechamiento, tendrían prioridad aquellos rellenos donde el sistema sea más ineficiente o por alguna razón no se esté utilizando el aprovechamiento y este en sólo quema del biogás
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización

II Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final

La primera acción, de esta línea estratégica, se resume a continuación:

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final.
CÓDIGO	TM+OBC
ACCIÓN	Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje. Mantener y fomentar los sistemas existentes de TM o separación en la fuente + tratamiento biológico con compostaje.
MITIGACIÓN	Directa y evitada, con posibilidad de Indirecta.
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la eficiencia y eficacia en la separación del residuo de origen vegetal. La acción pretende además promover la siguiente etapa del tratamiento con la creación y fomento de mercados para el producto de la tecnología y lograr una mitigación indirecta por el reemplazo de un producto en el mercado (abono químico).
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de separación en la fuente de los RSM, proceso de recepción y separación de residuos de origen vegetal en el RS.
PRINCIPALES BARRERAS	Viabilidad financiera incierta, por los precios de los subproductos y los costos de las unidades de depuración requeridas para implementar el aprovechamiento energético. El esquema tarifario vigente, no contempla para este tipo de procesos los costos ambientales, entre ellos el de la mitigación de GEI. En el proceso biológico, elevada exigencia de la calidad del insumo, rigurosa clasificación del componente vegetal. Tiempo requerido para la obtención del producto y necesidad de áreas de almacenaje.
MRV (Medición)	Cantidad (ton) de Emisiones de CO _{2eq} reducidas por implementación de la medida Cantidad de residuos tratados Cantidad de producto (abono) generado
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	No Aplica

RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización
-------------------	--

La segunda acción, de esta línea estratégica, se resume a continuación:

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final
CÓDIGO	TM+BC
ACCIÓN	Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje. Mantener y promover los sistemas existentes de TM o separación en la fuente + Compostaje.
MITIGACIÓN	Directa y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la eficiencia y eficacia en la separación del residuo de origen vegetal. La acción pretende además promover la creación y fomento de mercados para el producto de la tecnología Humus, compost, fertilizante orgánico.
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de separación en la fuente de los RSM, ruta selectiva para la recolección y transporte a planta de tratamiento, proceso de recepción y separación de Residuos de origen vegetal en el RS.
PRINCIPALES BARRERAS	El proceso biológico es de elevada exigencia en la calidad y homogeneidad del insumo, rigurosa clasificación del componente vegetal. Para grandes cantidades de residuos se obtiene por correlación directa elevadas cantidades de producto –compost- que requiere a su vez grandes áreas de almacenamiento y mercado asegurado de consumo. La ubicación de las plantas debe estar cerca a los usuarios potenciales, de lo contrario los costos de transporte lo puede volver inviable. El esquema tarifario vigente, no contempla para este tipo de procesos los costos ambientales, entre ellos el de la mitigación de GEI.
MRV (Medición)	Cantidad de rellenos sanitarios RS con la medida implementada % de rellenos sanitarios en el país con la medida implementada Cantidad (ton) de Emisiones de CO _{2eq} reducidas por implementación de la medida Cantidad de compost o humus generado Cantidad de fertilizante líquido generado

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Regiones de fácil mercadeo de los productos obtenidos en la aplicación tecnológica. Sitios de disposición final que hayan implementado la acción de mitigación, para su optimización.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización

La tercera acción de mitigación correspondiente a la mitigación de GEI para RSM que llegan a los sitios de disposición final se resume a continuación:

LINEA ESTRATÉGICA	Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final.
CÓDIGO	WtE
ACCIÓN	Tratamiento térmico WtE (termovalorización eléctrica) Fomentar y promover la implementación de plantas de aprovechamiento térmico-energético de los RSM como alternativa y complemento a los rellenos sanitarios.
MITIGACIÓN	Directa, indirecta y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende principalmente de la caracterización físicoquímica de los residuos. Básicamente Poder calorífico inferior (Mj/kg) y porcentaje de humedad relativa. La cantidad de residuos que llegan a los rellenos de gran capacidad, la característica de recibir el residuo mezclado, la eliminación de la generación de metano, y de lixiviados, el tiempo que dura el tratamiento, y la opción de generar significativas cantidades de energía eléctrica (kWh) elevan su potencial de mitigación de CO _{2eq} tanto por mitigación indirecta como por mitigación evitada.
PROCESOS IMPLICADOS	El proceso de disposición final se reduce a la cantidad de rechazo de la planta de Termovalorización, -cenizas-, lo cual aumenta la vida útil de los sitios de disposición final y los hace más amigables con el ambiente al sólo disponer residuos inertes, ya tratados.
PRINCIPALES BARRERAS	Los costos de inversión y operación son elevados, se requiere una buena capacidad financiera. Prejuicios de ambientalistas con la tecnología. No está el propósito establecido explícitamente en los diferentes municipios en los planes de ordenamiento territorial y en los Planes de Gestión integral de residuos sólidos urbanos, Falta de incentivos al valor del kWh generado mediante esta tecnología.

	El esquema tarifario vigente, no contempla para los rellenos sanitarios los costos ambientales que se genera, entre ellos los costos de la mitigación de los GEI, lo cual la convierte en la tecnología de menor costo y desincentiva la entrada de tecnologías más amigables con el ambiente, como la WtE.
MRV (Medición)	Cantidad de rellenos sanitarios RS con la medida implementada % de rellenos sanitarios en el país con la medida implementada Cantidad (ton) de Emisiones de CO _{2eq} reducidas por implementación de la medida Cantidad de residuos sólidos municipales procesados Cantidad de material ferroso y no ferroso recuperado Cantidad de escorias recuperadas Cantidad de kWh/año generados
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Categoría del relleno sanitario (decreto 1784 de 2017) a mayor categoría, mayor prioridad. Vida útil licenciada vencida o próxima a vencerse del sitio de disposición final.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización.

9.3 Análisis de implementación de las Acciones de mitigación

Es importante, para cada una de las acciones de mitigación propuestas en la NAMA RSM, describir el entorno de su aplicación, presentar los criterios de priorización y objetivos de mitigación, y formular las acciones de capacitación y sensibilización junto con el flujograma requerido para lograr la implementación de estas. Estos temas se desarrollarán a continuación, siguiendo el orden de las líneas estratégicas, es decir primero se hará referencia a las acciones correspondientes a los residuos ya dispuestos y posteriormente nos referiremos a las acciones para los residuos frescos que llegan a los sitios de disposición final

I Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

RGV+ Q. Recolección de gases de vertedero y quema

Los residuos municipales ya dispuestos, son los mayores causantes de GEI en los rellenos sanitarios, debido principalmente a la emisión del metano CH₄ que se genera en el proceso de descomposición de los residuos sólidos. Es ineludible, capturar el gas de los rellenos que no tengan el proceso implementado y quemarlo técnicamente, con el fin de lograr la mayor mitigación posible, además de darle mayor confiabilidad al relleno sanitario al minimizar su probabilidad de explosión y deslizamientos y optimizar el control de los gases.

Descripción:

Dado que dentro de la muestra de los 22 rellenos sanitarios abordados en la NAMA de RSM se encontró dos rellenos, los Picachos que recibe residuos, entre otros, de la ciudad de Popayán 263 ton/día (categoría II) año 2019 y El Clavo ubicado en el Palmar de Varela, departamento del Atlántico con una recepción 858 ton/día (categoría III), año 2019, con ningún sistema de aprovechamiento y sin sistema de captación de gases, consideramos imprescindible como acción de mitigación de la NAMA RSM promover para ellos y sus similares en el país la implementación de esta tecnología RGV+Q.

Criterios de priorización:

Cualquier relleno sanitario que no disponga de un sistema de captación y quema de gases técnicamente elaborado tiene prioridad de hacerlo, por su seguridad, tal como lo establece el decreto 1784 de 2017, como requisito mínimo para una futura ampliación, y como medio para “tomar medidas de control frente a posibles altas concentraciones en el fondo del relleno y de los índices de explosividad.” El implementar esta tecnología permite disponer de equipo para la medición y monitoreo de concentración de gases CH₄, H₂S y del límite de explosividad. Es importante precisar que tendrán prioridad en la implementación los rellenos de mayor categoría, por ser los que generan mayor cantidad de impacto y corren mayor riesgo de explosión por no controlar el biogás generado.

Objetivos de implementación:

Con la implementación de esta acción se logra un potencial de captura de metano para Picachos y el Clavo de 4,27 y 13,23 Gg de CH₄ respectivamente según datos del año 2030. Obviamente, este potencial es afectado por la eficiencia que se logre en la captación del biogás y en la eficiencia de su destrucción térmica.

Tabla 30: Sitios para RGV+Quema. Recolección y quema de gases de vertedero

Sitio de DF	Categoría, según decreto 1784-nov-2017	Estado RGV	Mton CO ₂ eq 2030 BAU	CH ₄ generado Gg 2030	Ubicación
Los Picachos	II, entre 50 y 500 ton/día	NINGUNA	0,12	4,27	Popayán
El Clavo	III, entre 500 y 3000 ton/día	NINGUNA	0,37	13,23	El Palmar de Varela, Atlántico

Fuente: Elaboración propia

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

- Revisión contrato de operación del relleno sanitario, con el propósito de determinar quién se haría responsable de la implementación.
- Revisión Plan de ordenamiento territorial, con el propósito de observar la proyección futura del relleno, por parte del municipio.
- Estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM.
- Capacitar a los entes Territoriales responsables de la actividad de disposición final del servicio público de aseo que disponen sus residuos en el relleno sanitario Respectivo, sobre la tecnología de mitigación de RGV+quemado, las posibilidades de financiación a través de CERTs, y de acuerdo con el decreto expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 1784 de 2017 Artículo 2.3.2.3.21. Aprovechamiento de Biogás, que la Corporación de regulación de agua potable y aseo CRA incluya parte de la financiación del proyecto en las tarifas municipales.

Hoja de ruta o flujograma para su implementación:

La acción de mitigación propuesta sólo se logra si las siguientes actividades, se ejecutan en su orden:

1. Actividad de sensibilización y capacitación de los municipios involucrados.
2. Revisión de contrato operador del RS, licencia ambiental.
3. Revisión del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente y del PGIR.
4. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.
5. Consecución de recursos y financiación para la implementación. Incluye inscripción del proyecto como MDL.

RGVQ+AE. Recolección de gases de vertedero con quema y aprovechamiento energético de biogás.

El biogás que generan los residuos ya dispuestos en un relleno sanitario no es únicamente nocivo con el medio ambiente, también tiene una característica positiva y es su gran potencial energético inherente, poder calorífico superior a 18 Mj/Nm³. De ahí la importancia de, en secuencia lógica, una vez capturado no quemarlo sino aprovecharlo, tal como se vio en la figura Tratamiento y usos del biogás del capítulo 6.

Se propone en la NAMA RSM la acción RGVQ+AE, que no es más que en los sitios que ya tienen una captación de gases y están quemando el biogás, implementen una fase adicional subsiguiente de aprovechamiento del mismo y se vaya migrando, depende de las condiciones de cada sitio, de la quema al aprovechamiento total del Biogás. Con ello logramos además de la mitigación por la quema del CH₄, la mitigación por la sustitución bien sea de los Kwh generados o del combustible de gas reemplazado, en una flota vehicular, por ejemplo. Es decir, producir una cantidad de energía kWh o combustible Gas natural, produce una huella de carbono, según sea el proceso de generación respectivo, al sustituir dicha producción por el biogás, previamente tratado, evitamos esa huella de carbono y además tenemos un producto fácilmente comercializable que nos va a incrementar los ingresos del proyecto que meramente capta y quema. El potencial de mitigación se incrementa considerablemente al incluir, mitigación directa (combustión de CH₄), indirecta (el proceso no consume energía externa, la produce y se autoabastece y evitada (vende los excedentes de energía producida, sustituyendo la huella de carbono de producir el equivalente de esa energía.)

Descripción:

Dentro de la muestra de rellenos sanitarios abordados por la NAMA RSM es significativo el número de rellenos sanitarios que tienen captación de gases (19 de 22), pero que por algún motivo no han implementado el aprovechamiento de este. Como ya vimos, esta tecnología nos permitiría mejorar los proyectos de MDL que sólo tienen ingresos por CERTs tanto en la parte económica como en la parte de mitigación de GEI. De ahí que se proponga la implementación de esta tecnología, previos estudios de detalle en los sitios mencionados más adelante en el acápite Objetivos de implementación.

Criterios de priorización:

Se prioriza a los rellenos sanitarios de mayor cantidad de emisiones de CH₄, por ser los de mayor impacto ambiental y dónde la acción de mitigación tendrá mayor efecto y además ser los de mayor probabilidad de lograr viabilidad financiera.

Objetivos de implementación:

Implementar la medida de mitigación en 19 rellenos sanitarios de 22 incluidos en la muestra de la NAMA RSM, con lo cual se logra un potencial de captura de 307,74 Gg de CH₄. Esta captura aportada por cada sitio de disposición final se muestra en la siguiente tabla, junto con el potencial eléctrico en MW.

Tabla 31: Sitios RGVQ+AE. RGV con quema y aprovechamiento energético del Biogás

Sitio de DF	Gg CH ₄ 2030	MW netos 2030
Pradera	67,86	13,15
Colomba El Guabal de Yotocó	43,36	8,40
Nuevo Mondoñedo	28,31	5,49
Sitio de disposición final El Carrasco	13,14	2,55
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	15,33	2,97
Regional Presidente	14,37	2,78
La Glorita	16,39	3,18
Loma Grande	12,52	2,43
Parque Ecológico Reciclante	12,72	2,46
Parque Ambiental Palangana	8,21	1,59
Los Corazones	8,58	1,66
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	9,71	1,88
El Oasis	6,64	1,29
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	6,97	1,35
Parque Ambiental Pirgua	6,15	1,19
La Esmeralda	10,49	2,03
Parque Ambiental Andalucía	6,68	1,29
Los Picachos	4,27	0,83
El Clavo	13,23	2,56
TOTAL 19 R.S	304,93	59

Fuente: Elaboración propia

Podemos concluir, que al implementarse esta medida de mitigación podríamos dejar de emitir al ambiente un total de 304.93 Gg de CH₄ y a su vez generar potencialmente una capacidad eléctrica instalada de 59 MW.

Los datos han sido obtenidos con una densidad de CH₄ de 1.2 Kg/m³, un potencial eléctrico del metano de 4.85 kWh/m³, y una eficiencia del motor-generador de 42%, según KDM Energía.

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

- Revisión contrato de operación del relleno sanitario, con el propósito de armonizar intereses del operador y la entidad territorial correspondiente.
- Revisión Plan de ordenamiento territorial, con el propósito de observar la proyección futura del relleno, por parte del municipio.
- Revisión del Plan de gestión integral de residuos PGIR, para si no está contemplado incluir la implementación de esta acción de mitigación en el municipio correspondiente.
- Se debe garantizar no sólo que al inicio del proyecto se esté produciendo suficiente biogás para su explotación, sino que mantenga su generación durante el tiempo de explotación del proyecto que permita el aprovechamiento sostenido en el tiempo. Es importante resaltar que el proceso biológico de generación de metano se presenta en la fase Metanogénica estable, la cual estadísticamente ocurre entre los 2 y 10 años de haber dispuesto el residuo e inicia un declive en la siguiente etapa, denominada Maduración, donde cae a valores no óptimos para la producción. Datos KDM Energía, empresa enfocada a la generación de energías renovables no convencionales (ERNC) y a la producción de “bonos de carbono” ó reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- Se debe garantizar mercado para el producto, el municipio es el cliente prioritario.
- Estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM.
- Capacitar a los entes regionales responsables del servicio de disposición final del servicio público de aseo que disponen sus residuos en el relleno sanitario Respectivo, sobre la tecnología de mitigación de RGVQ+AE. Que incluye la posibilidad para que el municipio reciba ingresos por venta de producto, bien sea energía eléctrica o combustible gas metano para vehículos; las posibilidades de financiación a través de CERTs, y de acuerdo con el decreto expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 1784 de 2017 Artículo 2.3.2.3.21. Aprovechamiento de Biogás, que la Corporación de regulación de agua potable y aseo CRA incluya parte de la financiación del proyecto en las tarifas municipales

Hoja de ruta para su implementación:

Para lograr la acción de mitigación propuesta es necesario desarrollar las siguientes actividades:

1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología de aprovechamiento de biogás, sus requisitos técnicos y los productos que se pueden desarrollar a partir de su aprovechamiento.
2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental, y potencial de generación de CH₄ del relleno respectivo para lograr el punto mínimo de explotación y aprovechamiento.
3. Revisión y actualización del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente.
4. Revisión y actualización Plan de gestión integral de residuos PGIR
5. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación
6. Consecución de recursos y financiación para la implementación.

7. Aseguramiento de los clientes que van a consumir el producto durante toda la vida del proyecto.
8. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión de interconexión eléctrica, o con la red de gas, inscripción ante la UPME o la CREG, según el caso; licencia de construcción ante planeación municipal.)

OAEB. Optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente.

Los sistemas de aprovechamiento de biogás existentes en el país deben ser potencializados al máximo, con lo cual se maximiza la mitigación de GEI que cada uno de los rellenos involucrados puede proporcionar. AL ampliar la capacidad de generación eléctrica de los sistemas de aprovechamiento existentes logramos una mitigación evitada por cada kWh adicional que logremos generar.

Descripción:

De los tres sitios de disposición final que cuentan con sistemas de aprovechamiento de biogás en el país, hay dos que de acuerdo con informe de la BAU están detenidos Parque ambiental Los Pocitos y parque ambiental Los Cocos. Es necesario hacerles un diagnóstico, ponerlos en marcha y optimizarlos para que su capacidad de mitigación de GEI, sea mejorada y se superen las posibles dificultades económicas de su explotación. Por su parte, el relleno sanitario Doña Juana tiene un potencial de generación eléctrica mucho mayor, al que actualmente está proporcionando (19.88 MW con el sistema optimizado contra 1,7 MW actuales). Como se trata de rellenos de categoría IV, RSDJ y categoría III, Los Pocitos y Los Cocos, son significativos sus impactos ambientales. De ahí la importancia de involucrarlos en esta acción de mitigación de optimización del sistema de aprovechamiento del biogás captado existente.

Criterios de priorización:

Simultáneamente se debe realizar la divulgación y promoción de esta acción de mitigación en cada uno de los tres Rellenos.

Objetivos de implementación:

Implementar la medida de mitigación en los 3 rellenos sanitarios mencionados arriba, con lo cual se logra una captura de 164,28 Gg de CH₄. Esta captura aportada por cada sitio de disposición final se muestra en la siguiente tabla, junto con el potencial eléctrico en MW.

Tabla 32: Sitios OAEB Optimización aprovechamiento energético del Biogás captado

Sitio de DF	Gg CH ₄ 2030	MW netos 2030
Doña Juana (1)	111,37	19,88
Parque Ambiental Los Pocitos	23,31	4,52
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	29,60	5,74
Total 3 rellenos a optimizar	164,28	30,13

Fuente: Elaboración propia NAMA RSM

Podemos concluir, que al implementarse esta medida podríamos dejar de emitir al ambiente un total de 164,28 Gg de CH₄ y a su vez generar potencialmente una capacidad eléctrica instalada de 30,13 MW.

Los datos han sido obtenidos con una densidad de CH₄ de 1.2 Kg/m³, un potencial eléctrico del metano de 4.85 kWh/m³, y una eficiencia del motor-generator de 42%, según KDM Energía.

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

- Diagnóstico de los sistemas de aprovechamiento de biogás para cada uno de los rellenos involucrados en esta acción de la NAMA RSM.
- Estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM.
- Capacitar a los entes regionales responsables del servicio de disposición final del servicio público de aseo que disponen sus residuos en el relleno sanitario Respectivo, sobre la tecnología de mitigación de OAEB optimización del aprovechamiento del biogás. Que incluye la posibilidad para que el municipio reciba mayores ingresos por venta de producto energía eléctrica.

Hoja de ruta para su implementación:

Para lograr la acción de mitigación propuesta es necesario desarrollar las siguientes actividades:

1. Sensibilización y capacitación sobre la acción de mitigación OAEB.
2. Elaboración de estudios de optimización e implementación
3. Actualización del PGIR
4. Consecución de recursos y financiación para la implementación. Incluida la gestión ante la CRA, para que, con base en el decreto expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 1784 de 2017 Artículo 2.3.2.3.21. Aprovechamiento de Biogás, incluya parte de la financiación del proyecto en las tarifas municipales.
5. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión de interconexión eléctrica, o con la red de gas, inscripción ante la UPME o la CREG, según el caso, entre otras.

II Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final.

TM+ OBC. Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.

Tal como se describió para cada una de las tecnologías en el capítulo 6, se concluye que ellas no son eficientes para la mitigación de GEI por sí solas, sino que requieren ser combinadas entre sí. De otra manera, todo proceso biológico requiere una estricta separación y clasificación del material ya que sólo admite material biodegradable.

En la información recopilada para establecer la línea Base BAU de la NAMA RSM, se encontró que el relleno EL Reciclante en Villavicencio cuenta con un proyecto, en marcha, de tratamiento de lodos, aprovechamiento de residuos de restaurante, corte de césped y poda de árbol mediante compostaje. Nuestra propuesta es optimizar el proceso y promover su difusión a otros sitios de disposición final.

Descripción:

El proyecto que se desarrolla en el RS El Reciclante, en la ciudad de Villavicencio, hace referencia a “una zona de separación y clasificación de residuos, así como la adecuación de zonas verdes, praderas, barreras vivas y áreas de compensación forestal. Se tratan los lodos provenientes de residuos de materiales de petroleras, restaurantes, podas, letrinas, residuos de estiércol y pozos sépticos (en el año 2013 se inició el proceso de pruebas). A través de la técnica de secado térmico solar y compostaje son acondicionados para ser aprovechados dentro del área del parque. Aproximadamente, 3 toneladas de residuos se generan de podas y estiércol los cuales se trituran y mezclan para generar compostaje, produciendo 30 toneladas de éste al mes. Del mismo modo, el compostaje de material de podas y césped elaborado en el Parque Ecológico Reciclante es utilizado como abono para las plántulas que la entidad siembra. Dado que los residuos que se tratan son comunes a todos los municipios del país, se propone en la NAMA RSM, hacerle un seguimiento a la evolución de este proyecto que está en operación, optimizarlo y según los resultados promover su réplica a otros rellenos.

Criterios de priorización:

Dado que es el seguimiento y optimización de un proyecto ya en marcha, no aplica priorización. Es único.

Objetivos de implementación:

Si se logra ampliar la capacidad del proyecto, la cantidad de toneladas de residuos de biomasa que se logren clasificar y tratar, serán las mismas que se dejen de disponer y por ende se estima que el potencial de reducción de emisiones es de 156.558 Ton CO_{2eq} a 2030. Por otra parte, si se logra certificar el producto “abono orgánico”, podemos obtener una mitigación adicional por reemplazo de un producto existente en el mercado, el abono químico, y evitar así la huella de carbono que éste genera.

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

- Autorización de Bioagrícola del Llano S.A. E.S.P quien es el operador del relleno sanitario
- Equipo técnico de seguimiento y mejora.

- Obtener certificación del producto “abono orgánico”.
- Desarrollar mercado para el producto.

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los generadores del residuo la importancia de su selección para obtener un producto homogéneo al final, que sea certificable y comercializable
- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM y las posibilidades de financiación de estos proyectos.

Hoja de ruta para su implementación:

El logro de la optimización depende del desarrollo de las siguientes actividades

1. Estudio detallado del proyecto, sus características técnicas y posibilidades de mejora
2. Sensibilización y capacitación sobre tecnologías de aprovechamiento biológico aerobio, sus posibilidades de mejora y los productos que se pueden desarrollar a partir de implementar etapas como lombricultura.
3. Sensibilización sobre las ventajas de certificar un producto y proceso para lograrlo
4. Consecución de recursos, si es necesario para amentar capacidad y calidad de procesamiento
5. Plan de implementación del Proyecto optimizado.

TM+BC Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje.

Como en Colombia, la legislación promueve la separación en fuente de los residuos, y existen en algunos municipios rutas de recolección separada de material procedente de corte de césped y poda de árboles., la propuesta para la NAMA RSM es promover esta directiva y ampliar la recolección selectiva a plazas de mercado e incluso a residuos domiciliarios de origen vegetal, para llevarlos a plantas de tratamiento biológico, que por su bajo costo y fácil implementación deben ser plantas de tratamiento aerobio de Compostaje. Con lo cual se logra reducir el residuo que llega al relleno, sustituir un producto comercial con una huella de carbono definida.

Descripción:

Dado que todos los municipios del país generan residuos de biomasa, jardinería, desechos vegetales en plazas de mercado, entre otros, y que existe la directriz nacional de hacer separación en la fuente se propone profundizar esta directriz y promover la construcción de plantas de tratamiento biológico de Compostaje. 21 plantas en total que en principio deben tratar residuos de poda de árboles, corte de césped, plazas de mercado y en una segunda fase residuos de restaurantes, y de fuente domiciliaria correctamente separado los residuos de cocina.

Criterios de priorización:

Como ya se anotó, todos los municipios generan residuos de poda, corte de césped, jardinería, plazas de mercado de origen vegetal, y en general de biomasa que en su gran mayoría termina en los rellenos sanitarios generando el mayor impacto dentro de todos los residuos en cuanto a la producción de lixiviados y gases efecto invernadero, por su carácter biodegradable y putrescible. De ahí la necesidad y el planteamiento de proponer para el largo plazo lograr el cubrimiento del 100%

de todos los sitios con la tecnología TM (separación en fuente) + BC. La prioridad la establece la categoría de los rellenos, tienen prioridad para la implementación los de menor capacidad, en su orden categoría I, II, III y finalmente IV, en el entendido que los municipios más pequeños cuentan, en general, con una actividad agraria directa y cercana que potencializa una mayor facilidad de comercializar el compost, humus, o abono orgánico y por lo tanto da mayor posibilidad de viabilidad financiera y autosostenibilidad. Algunos municipios ya plantean en sus PGIR la opción de aplicar esta tecnología, esto se convertirá en la segunda variable de priorización para la implementación, apoyar a los que ya muestran intencionalidad de hacerlo.

Objetivos de implementación:

Los residuos biodegradables, apropiados para someterlos a un proceso de Compostaje, previa separación en fuente y o tratamiento mecánico, junto con la existencia de un mercado potencial en sector agrícola para la comercialización de los productos de esta tecnología, son fundamento para proponer una acción de mitigación que involucre en el largo plazo a todos los rellenos establecidos en la muestra y que incluya como infraestructura instalar plantas de compostaje. Se proyecta instalar esta tecnología en 21 rellenos sanitarios, que tendrían un potencial de reducción de emisiones de 3.823.992TnCO₂eq a 2030.

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

- Revisión contrato de operación del relleno sanitario, con el propósito de armonizar intereses del operador y la entidad territorial correspondiente.
- Revisión Plan de ordenamiento territorial, con el propósito de observar la proyección futura del relleno, por parte del municipio.
- Revisión del Plan de gestión integral de residuos PGIR, para si no está contemplado incluir la implementación de esta acción de mitigación en el municipio correspondiente.
- Se debe garantizar mercado para el producto durante toda la etapa del proyecto. El municipio es el cliente prioritario.
- Estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM.
- Capacitar a los entes regionales responsables del servicio de disposición final del servicio público de aseo que disponen sus residuos en el relleno sanitario Respectivo, sobre la tecnología de mitigación de TM (o separación en fuente)+ BC. Que incluye la posibilidad para que el municipio reciba ingresos por venta de producto las posibilidades de que la Corporación de regulación de agua potable y aseo CRA incluya parte de la financiación del proyecto en las tarifas municipales.

Hoja de ruta para su implementación:

Para lograr la acción de mitigación propuesta es necesario desarrollar las siguientes actividades:

1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología de compostaje, sus requisitos técnicos y los productos que se pueden desarrollar a partir de su aprovechamiento.

2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental.
3. Revisión del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente.
4. Revisión Plan de gestión integral de residuos PGIR
5. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación
6. Consecución de recursos y financiación para la implementación.
7. Aseguramiento de mercado para el producto durante toda la vida del proyecto.
8. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión para la certificación del producto; licencia de construcción ante planeación municipal.)

WtE. Tratamiento térmico Waste to Energy o termovalorización eléctrica

Continuando con el planteamiento realizado en el capítulo 6, la urgencia que presenta el servicio público de aseo de carencia de espacios para disposición final, las directrices del gobierno nacional y sus compromisos en la OCDE y en el acuerdo de París de migrar a tecnologías limpias en la generación de energía, y en el aprovechamiento de residuos sólidos municipales, para mitigar su huella de carbono, además de las experiencias de los países del mundo en cuanto a la selección e implementación de tecnologías ampliamente usadas, comprobadas en cuanto a su éxito y capacidad de tratamiento de las cantidades de residuo que generan grandes metrópolis; consideramos indispensable, como acción no sólo de mitigación sino de solución a toda esta problemática ambiental, de economía circular en el tratamiento de los residuos y de diversificación de la matriz de generación eléctrica en el país proponer en la NAMA RSM la ejecución de proyectos de implementación de plantas de termovalorización o WtE.

Descripción:

Colombia como país miembro de la OCDE se ha comprometido con los objetivos de desarrollo sostenible, cuyo fin primordial es lograr un desarrollo basado en el cuidado, respeto y preservación del medio ambiente. La tecnología de rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos municipales generados ha venido cumpliendo un papel de mejoramiento en cuanto a la disposición de los mismos, sin embargo es innegable que esta tecnología no es la ideal para cumplir con los nuevos compromisos ambientales, y al igual que han hecho los países desarrollados, ver figura 7 en el capítulo 6 Termovalorización y reciclaje en Europa, nos vemos abocados a asumir la tarea de ir reduciendo gradualmente la cantidad de residuos dispuestos en los rellenos sanitarios y enfocarnos en una economía circular que aproveche los mismos para la generación de electricidad. La difícil situación que, de acuerdo con los informes anuales de la SSPD y la DNP, viven la mayoría de los rellenos sanitarios, su escasa vida útil, la falta de predios apropiados para ubicar nuevos y el claro propósito de generar acciones de mitigación de GEI, convierten a la NAMA RSM en una gran oportunidad para que el país se oriente en este sentido. La tecnología WtE se ha convertido en una de las tecnologías más usada en el mundo para generar energía renovable a partir de residuos compensando las emisiones causadas por la generación eléctrica desde combustibles fósiles y minimizando la generación de GEI en los rellenos.

Para implementar esta acción de mitigación, se requiere principalmente compromiso de los municipios y una gestión juiciosa de apoyo de parte del gobierno central. Es importante realizar una divulgación de la tecnología y de la normatividad, que indique, entre otras las oportunidades de

aprovechar los estímulos contemplados en la legislación vigente, tales como la ley 1715 de 2014 que establece aspectos preferenciales para las fuentes no convencionales de energía FNCE, entre otros: Artículo 11. Incentivos a la generación de energías no convencionales. “Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.” Artículo 14. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo contable depreciación acelerada de activos. La actividad de generación a partir de FNCE, gozará del régimen de depreciación acelerada. La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la presente ley. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.” El decreto 2412 de 2018 del MVCT "Por el cual se adiciona el capítulo 7, al título 2, de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones" Específicamente en su Artículo 2.3.2.7.3. Valor del Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (VIAT).; el cual permite un mayor valor por Disposición final CDF, como incentivo VIAT. Y otras para la importación de equipos de generación de energía renovable, las diferentes fuentes de financiación, incluidas las de proyectos MDL o de desarrollo limpio y los posibles estímulos y mecanismos para obtener financiación que la NAMA RSM podría facilitar.

Es importante tener en cuenta, que técnicamente es necesario, según el Banco Interamericano de Desarrollo BID, partir de residuos con un poder calorífico inferior PCI mayor a 7 Mj/kg para asegurar el cierre financiero, por lo cual se deben realizar o actualizar los estudios de caracterización de los residuos con los cuales se pueda determinar la cantidad de energía a generar. Aunque la tecnología ha avanzado lo suficiente en cuanto al control de impactos ambientales propios del proceso, que hace posible la ubicación de estas plantas en zonas urbanas, como es el caso de Londres, Helsinki, Tokio, Barcelona, entre otras, si es necesario tener en cuenta que deben estar cerca fuentes de agua, por la cantidad requerida para el enfriamiento y condensación del vapor de agua que se reutilizará en el proceso y cerca a la red de media tensión para lograr minimizar costos de interconexión a la red eléctrica Nacional. La normativa nacional establece requerimientos mínimos para los procesos de tratamiento térmico de los RSU consignados en el título F del RAS 2012 F7.2 Requisitos obligatorios del sistema, para el caso específico de incineración se aplica, entre otros: “Todas las plantas de tratamiento térmico deben cumplir con las siguientes características de diseño para su operación: La planta debe poseer sistemas redundantes en el control y de respaldo en la operación.” ...” Debe contarse con una buena red de agua y drenaje para limpieza del foso de almacenamiento y la plataforma de descargue de los residuos”. En general esta normatividad ha de exigirse explícitamente en los procesos de contratación con los proveedores de equipo que se surta en esas etapas del proceso

Criterios de priorización:

En concordancia con los objetivos de la NAMA RSM, aunque somos conscientes de la necesidad de llevar la tecnología WtE a la mayor cantidad posible de sitios, como alternativa a la disposición de residuos, se priorizan para empezar su implementación aquellos rellenos, que según clasificación del

decreto 1784 de nov de 2017 tienen mayor categoría IV y III respectivamente, ya que son los que más residuos reciben, mayores impactos ambientales ocasionan, y por tanto mayor potencial de mitigación tienen. Como segunda variable de priorización está la vida útil licenciada de los rellenos, que nos determina la urgencia de implementar la solución definitiva al problema de contaminación que genera la tecnología de relleno sanitario. Por último, precisar que las ciudades de mayor cantidad de habitantes son las que más cantidad de residuos generan y también las que tienen más recursos financieros y humanos para la implementación de proyectos de esta naturaleza que requieren altas inversiones y personal calificado para su operación y mantenimiento.

Objetivos de implementación:

EL planteamiento consiste en realizar 17 proyecto de implementación de plantas WtE en las ciudades descritas en la siguiente tabla, Doña Juana y Pradera categoría IV ; El Guabal de Yotocó, Parque Ambiental Los Pocitos, Parque Ambiental Loma de Los Cocos, Nuevo Mondoñedo, El Carrasco, Parque Tecnológico Ambiental Guayabal, Regional Presidente, La Glorita, Loma Grande, Parque Ecológico Reciclante, Parque Ambiental Palangana, el Clavo categoría III y Los Corazones, Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel y La Esmeralda categoría II, estos últimos, de acuerdo con las proyecciones en el 2020 están pasando a categoría III.

Tabla 33: Proyectos WtE Termovalorización eléctrica

Sitio de DF	RSM ton/día 2020	RSM ton/día 2030	Mton CO2 eq 2030 reducidas	Potencial B MW por WtE 2030	Potencial A MW por WtE 2030
Doña Juana	6.631	6.925	2,27	144	216
Pradera	3.373	4.830	1,05	101	151
Colomba El Guabal de Yotocó	2.591	3.726	0,64	78	116
Parque Ambiental Los Pocitos	1.604	1.832	0,41	38	57
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	1.496	2.121	0,49	44	66
Nuevo Mondoñedo	1.486	2.602	0,40	54	81
Sitio de disposición final El Carrasco	804	906	0,28	19	28
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	935	1.480	0,26	31	46
Regional Presidente	769	985	0,13	21	31
La Glorita	866	1.246	0,25	26	39
Loma Grande	533	819	0,35	17	26
Parque Ecológico Reciclante	597	1.038	0,24	22	32
Parque Ambiental Palangana	545	835	0,16	17	26
Los Corazones	517	851	0,18	18	27

Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	495	774	0,19	16	24
La Esmeralda	581	755	0,23	16	24
El Clavo	982	2.020	0,14	42	63
Total 17 proyectos	24.804	33.745	7,66	703	1.055

Fuente: Elaboración propia, parámetros WTWERT Waste to energy Reserch and Technology Council.

Como se puede apreciar en la tabla Proyecto WtE, implementar los 17 proyectos implica un potencial de mitigación de 7,66 Mton CO_{2eq}, y un potencial de capacidad eléctrica instalada entre 703 y 1055 de capacidad. Lo que representa, a manera de referencia, más del 35% de la capacidad total de Hidroituango (2000 Mw).

El potencial eléctrico se calculó, teniendo en cuenta el rango 500 (potencial B) a 750 kWh/ton RSU (potencial A), dado por Dr Efstratios Kalogirou del WTWERT Waste to Energy Research and Technology Council.

Requisitos técnicos y operativos para la implementación:

Los siguientes son los requisitos básicos para poder implementar los proyectos.

- Revisión contrato de operación del relleno sanitario, con el propósito de armonizar intereses del operador y la entidad territorial correspondiente.
- Revisión y/o actualización del Plan de ordenamiento territorial, con el propósito de incluir el proyecto de aprovechamiento de RSM WtE.
- Revisión y/o actualización del Plan de gestión integral de residuos PGIR, para si no está contemplado incluir la implementación de esta acción de mitigación en el municipio correspondiente.
- Predios disponibles para su ubicación con fuentes cercanas de agua y posibilidad de conexión eléctrica en media tensión.
- Voluntad manifiesta de la administración para desarrollar el proyecto.
- Estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación

Acciones de capacitación y Sensibilización requeridas:

- Sensibilizar a los municipios que disponen sus residuos en el Relleno sanitario respectivo, sobre las acciones de la NAMA RSM.
- Capacitar a los entes regionales responsables del servicio de disposición final del servicio público de aseo que disponen sus residuos en el relleno sanitario Respectivo, sobre la tecnología de mitigación de GEI y aprovechamiento de RSM de WtE. Que incluye la posibilidad para que el municipio reciba ingresos por venta de energía eléctrica; las posibilidades de que la Corporación de regulación de agua potable y aseo CRA incluya parte de la financiación del proyecto en las tarifas municipales, y las posibilidades de financiación aportadas por la NAMA RSM.

Hoja de ruta para su implementación:

La hoja de ruta es:

1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología WtE, sus requisitos técnicos y los productos que se obtener y comercializar al desarrollar el proyecto.
2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental,
3. Revisión y actualización del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente.
4. Revisión y actualización Plan de gestión integral de residuos PGIR
5. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación
6. Consecución de recursos y financiación para la implementación.
7. Aseguramiento de los clientes que van a consumir el producto durante toda la vida del proyecto.
8. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión de interconexión eléctrica, registro ante la UPME; licencia de construcción ante planeación municipal.).

10 Identificación Co-beneficios

En este capítulo se presenta una aproximación a la identificación de co-beneficios derivados de las tecnologías a evaluar dentro del desarrollo de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales.

El propósito de las NAMAs es ayudar a desligar la generación de GEI del desarrollo y crecimiento económico de los países, por medio del diseño e implementación de acciones de mitigación apropiadas, que durante su implementación generen impactos positivos significativos a nivel ambiental, económico y social (Econometría, en MADS 2014).

Los co-beneficios se han entendido, en el marco de la gestión del cambio climático, como beneficios paralelos a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero -GEI-, los cuales emergen a raíz de la implementación de una política, programa, proyecto, acción o medida de mitigación. Usualmente, estos beneficios alternos al objetivo central, están asociados a los objetivos de desarrollo sostenible y equidad en las estrategias de mitigación con enfoque de desarrollo bajo en carbono y en las estrategias de adaptación con enfoque de desarrollo resiliente al clima. Los co-beneficios también pueden representarse como los costos evitados dentro de una comunidad consecuencia de los proyectos de la NAMA y sus acciones específicas (Santucci et al. 2015); (Mitchell y Maxwell, 2010 en LEDS-LAC, 2017).

En el Plan Integral para la Gestión del Cambio Climático del Sector (PIGCCS) Vivienda y Saneamiento se definen los co-beneficios como *“Efectos positivos que una política o medida destinada a un propósito podría tener en otro propósito, independientemente del efecto neto sobre el bienestar social general. Los co-beneficios están a menudo supeditados a la incertidumbre y dependen, entre otros factores, de las circunstancias locales y las prácticas de aplicación. Los co-beneficios también se denominan beneficios secundarios.”* (Congreso de Colombia, 2018; en MVCT, 2020).

La evaluación de los co-beneficios ha constituido una prioridad en los diálogos de saberes para diferenciar los beneficios locales de la mitigación, de los beneficios de reducción de GEI, que son de orden global. En este contexto, se han mapeado herramientas para la valoración de los beneficios adicionales que brindan las medidas de mitigación, desde los beneficios en la salud pública, las mejoras en la calidad de vida, y la protección de la biodiversidad, hasta la creación de empleo, transferencia de tecnología e innovación, así como investigación y desarrollo. (EUROCLIMA, 2015)

Tabla 34 Tipos de co-beneficios conforme a cada categoría orientada por ámbito de impacto

Tipo de co-beneficio	Descripción
Económicos	Si bien la mayoría de los cobeneficios valorados económicamente, se consideran cobeneficios económicos los que se presentan cuando el resultado trae un cambio en los ingresos o en los costos, incluidos los riesgos, de agentes particulares de la economía
Sociales	Se dan cuando los resultados de la medida implican un cambio en la calidad de vida de los individuos de una comunidad o de la sociedad en general, que no vienen expresados en términos monetarios
Ambientales	Cuando el resultado está definido a través de cambios o cambios evitados en bienes o servicios ambientales

Tipo de co-beneficio	Descripción
Institucionales	Cuando la medida actúa sobre las reglas de juego de la sociedad y permite mejorar el actuar de entidades y organizaciones, o ayuda a cumplir sus objetivos y metas. Este tipo de cobeneficios es transversal y generalmente son cualitativos

Fuente: Econometría, en MADS, 2014

De la misma forma, los lineamientos presentados en la guía técnica GTC 276 (Icontec 2016) y en el estudio del MADS (“Desarrollo y aplicación piloto de la metodología de evaluación de los co-beneficios de acciones de mitigación del cambio climático en Colombia”) para la identificación de los co-beneficios derivados de las acciones de mitigación priorizadas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 35 Descripción de los tipos de co-beneficios

	Ámbito de Impacto	Descripción	Consideraciones
Ambiental	Cambios evitados en bienes o servicios ambientales.	Aspectos que afecten bienes o servicios ambientales que puede ofrecer el ecosistema.	Incluir aire, suelo, agua y recursos naturales (biodiversidad).
Económico	<u>Cambios en los ingresos o en los costos, incluidos los riesgos, de agentes</u> particulares de la economía.	Aspectos que afecten los intereses de los grupos económicos.	Incluir crecimiento, energía, tecnología y balance de pagos.
Social	<u>Cambio en la calidad de vida de los individuos</u> de una comunidad o de la sociedad en general, que no vienen expresados en términos monetarios.	Aspectos que afecten el desarrollo de las comunidades directa o indirectamente.	Incluir empleo, salud, seguridad, educación y bienestar.

Fuente: Anthesis Lavola con base en la metodología de co-beneficios del proyecto NAMA Café.

La importancia en la medición de los co-beneficios radica en la utilidad a la hora de vincular actores públicos y privados en la decisión de implementación de las medidas. Contar con una cuantificación y/o cualificación de los co-beneficios permite realizar una valoración completa tanto de los beneficios directos e indirectos de las medidas para su comparación con los costos de adelantarlas. También, pueden apoyar y ayudar a avanzar hacia los objetivos nacionales e internacionales de desarrollo (Icontec 2016). En últimas los co-beneficios sirven para fortalecer la razón política de la NAMA, alineadas con las contribuciones nacionales y el deseo internacional de obtener soporte en el diseño y financiación de las acciones de mitigación y los beneficios de desarrollo (Santucci et al. 2015).

Para este caso particular, se retomó por parte de Anthesis Lavola el desarrollo metodológico del proyecto previo de mitigación del cambio climático denominado NAMA Café desarrollado por Lavola en el año 2017 con ajustes y modificaciones basados en las metodologías y resultados de las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación de Residuos de República Dominicana y Perú, con la propuesta de uso para este caso particular de los insumos de información obtenidos en las dinámicas participativas de Mentimeter que permitieron una cuantificación porcentual de estas respuestas.

10.1 Identificación de co-beneficios ambientales, sociales, institucionales y económicos

A continuación, se identifican los co-beneficios mapeados, de manera preliminar, para cada una de las acciones descritas anteriormente en el numeral referido a la identificación de tecnologías aplicables como medidas de mitigación en el contexto de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales. La valoración semicuantitativa en porcentajes del nivel de relación entre cada co-beneficio y cada alternativa tecnológica se basó en el taller participativo en el marco de la cámara de residuos de Andesco realizado el día 07-09-2020 con agentes del sector, entre ellos operadores de rellenos sanitarios, coordinadores de empresas de servicios públicos y profesionales especializados en representación de las instituciones mapeadas en el contexto nacional como actores de mayor relevancia. (Anexo 5. Agenda de Taller y Mentimeter con resultados). Los criterios usados para definir los co-beneficios, en el marco de la metodología de identificación y valoración de co-beneficios y limitantes para las NAMAs de Anthesis Lavola, fueron la pertinencia en el contexto nacional, la correlación con las posibles fases de implementación de las tecnologías propuestas y la vinculación en cada caso con las tipologías respectivas.

Tabla 36. Identificación y ponderación de co-beneficios por tecnología complementaria a la disposición final

Co-beneficio		% por Tecnología / Medida					Total %
		TM +OBC / TM+ BC	RGV+ Q / +AE/ OAEB	RDF	WTE	Ninguna	
Ambiental	Reducción de contaminación en fuentes hídricas por manejo adecuado de lixiviados	47	13	13	20	7	100
	Manejo y conservación de suelos (mejores prácticas)	46	11	23	20	0	100
	Sustitución de materias primas en las industrias locales con materiales recuperados, reutilizables, reciclables	54	4	25	13	4	100
	Sustitución de fuentes energéticas derivadas de combustibles fósiles	6	26	37	29	2	100
	Vinculación con reducción de pasivos ambientales	44	16	18	22	0	100
	Seguimiento y control de olores	26	34	11	29	0	100
	Seguimiento y control de vectores de enfermedades	32	24	14	30	0	100
Social	Generación de empleos permanentes	38	16	24	22	0	100
	Beneficios en las comunidades cercanas al relleno sanitario	35	24	15	26	0	100

Co-beneficio		% por Tecnología / Medida					Total %
		TM +OBC / TM+ BC	RGV+ Q / +AE/ OAEB	RDF	WTE	Ninguna	
Institucional	Fortalecimiento de capacidades técnico - operativas	21	31	14	34	0	100
	Incremento vida útil del relleno	29	6	26	39	0	100
	Aportes, desarrollos y difusión de la tecnología por parte de los operadores (Fortalecimiento de la industria nacional)	21	31	17	31	0	100
	Incremento de la formación (técnica / profesional) de los trabajadores internos	18	24	24	34	0	100
	Alianzas y experiencias con la academia para el desarrollo, uso y/o difusión de la tecnología	28	16	24	32	0	100
Económico	Reducción de riesgo en el pago de infracciones por incumplimiento de la normativa ambiental	8	29	21	38	4	100
	Reducción de costos por generación de energía al interior del relleno, por sustitución de combustibles fósiles o de agroquímicos para jardinería	16	42	19	23	0	100
	Reducción de costos por campañas de prevención de enfermedades	19	15	22	41	3	100
	Reducción de costos en combustible para las flotas de transporte de residuos	10	43	24	10	13	100
	Incremento de ingresos por venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER)	7	52	17	24	0	100
	Incremento de ingresos por venta de energía a la industria local	0	38	12	46	4	100
Totales porcentuales por Tecnología		505	495	400	563	37	

Fuente: Elaboración propia de la consultoría. Nota: Los valores corresponden a la ponderación automática realizada en el software Mentimeter para las aproximaciones de participación en territorios.

El estimativo de la ponderación ubica a la tecnología de aprovechamiento energético de residuos (WTE) con 563 unidades porcentuales acumuladas en el nivel de mayor impacto respecto de los co-beneficios posibles, seguida del Tratamiento Mecánico Biológico (TMB) con 505 unidades y el

Aprovechamiento de Gas de Vertedero (AGV) con 495 unidades, finalmente el Combustible Derivado de Residuos (RDF) sumó 400 unidades porcentuales y las respuestas respecto de ninguna tecnología con co-beneficios fueron de 37 unidades. Por tipologías, en lo ambiental el más representativo ha sido el TMB con 255 unidades, en lo social e institucional el más representativo ha sido el WTE con 217 unidades y en lo económico el más representativo ha sido el AGV con 219 unidades porcentuales.

10.2 Descripción de los co-beneficios ambientales

En los siguientes numerales se resume información asociada a co-beneficios ambientales que pueden surgir o evidenciarse en el marco de la posible implementación de las tecnologías complementarias a la actividad de disposición final para la NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia, por ende, no son co-beneficios de la actividad de disposición final per se, en dicho caso serían en su mayoría obligaciones por norma como el saneamiento y la recuperación ambiental o en el caso de los co-beneficios sociales la responsabilidad social empresarial.

Esto mismo dicho con un ejemplo, la reducción de la contaminación hídrica edáfica y atmosférica para una operación de un relleno sanitario es un deber legal, en tanto la reducción de la contaminación hídrica y del suelo para una tecnología de tratamiento, complementaria a la disposición final cuyo objetivo es reducir la contaminación atmosférica producto de esa disposición final, constituye un co-beneficio ambiental, máxime cuando existen procesos en estos desarrollos tecnológicos que comienzan a incorporar infraestructuras y equipamientos alternos a los rellenos sanitarios que se comienzan a visibilizar en la cadena de valor del sector, tales como las estaciones de transferencia, las estaciones de clasificación y aprovechamiento, así como las plantas de tratamiento.

Estos co-beneficios identificados en la tipología correspondiente a los ambientales deben ser priorizados dado que se van a monitorear en el proceso de actualización de la NDC y en el marco de los compromisos asumidos como país; es por esto que particularmente algunos asociados a la reducción de la contaminación por lixiviados en los rellenos y/o tecnologías complementarias de tratamiento de residuos, para el caso puntual, se incluyeron en las prefactibilidades en los apartados de evaluación social y ambiental, así como algunos otros asociados con empleo en la tipología de co-beneficios sociales; se prioriza y se incluirán en fases posteriores flujos positivos de producción energética en MWh vendidos por excedente al mercado de energía local, cuando la acción de mitigación y su tecnología correspondiente lo permitan.

Reducción de contaminación en fuentes hídricas

En la actividad de disposición final de residuos sólidos se genera una producción de lixiviados como efecto de *“la percolación del agua en los diferentes sistemas de rellenos sanitarios arrastrando los líquidos residuales obtenidos de la transformación biológica de los compuestos orgánicos o biodegradables bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas”* (Barba et al., 2010; Kurniawan et al., 2006; En Zuluaga, 2019). *“En su composición se puede encontrar materia orgánica disuelta, sales inorgánicas, metales pesados y otros compuestos orgánicos xenobióticos, por lo que pueden ser tóxicos, cancerígenos y capaces de inducir un riesgo potencial en el medio ambiente y los seres humanos”* (Toufexi et al. 2013, en Reyes Medina, 2015).

“El tratamiento del lixiviado es esencial para reducir todo el contenido orgánico y el nitrógeno del mismo”. (Reyes Medina, 2015). De esta manera, *“la necesidad de eliminar el amonio y la materia orgánica requiere la utilización de plantas de tratamiento”*. (Peláez y cols., 1993, en Espinoza Llorens et al, 2007). Los tratamientos de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios se asemejan a la depuración de aguas residuales, pero *“se diferencia en la alta carga orgánica e inorgánica que estos llegan a tener, por ende, varían aspectos técnicos y económicos para llevar a cabo el tratamiento más adecuado, que en general su tratamiento se realiza por medio de transferencia de lixiviados, biodegradación y métodos fisicoquímicos”* (Kurniawan et al., 2006; Renou et al., 2008; en Zuluaga, 2019).

Las tecnologías contempladas en el horizonte de esta NAMA RSM tienen diferentes impactos en la reducción de lixiviados y sus efectos sobre las fuentes hídricas en la actividad de disposición final, si bien el aprovechamiento energético del biogás posibilita incrementar eficiencias y reducir subproductos, sigue siendo inherente a la actividad de disposición final aún en menor proporción; por su parte el aprovechamiento energético de los residuos *per se*, o Waste to energy reduce la disposición final al máximo, aproximadamente 20% de los RSM que ingresen a la planta en la disposición de cenizas y y escorias , por lo que la reducción de lixiviados y con esto, la posible contaminación hídrica subsecuente, disminuye proporcional y significativamente, además porque el material dispuesto no genera la misma cantidad de lixiviados que lo haría el RSM, por no ser putrescible. Es así como las tecnologías alternativas y complementarias a la disposición final de residuos sólidos orientadas a reducir las emisiones de CH₄ procedentes de los rellenos sanitarios, permiten una reducción de los impactos originados sobre las fuentes hídricas en la actividad propia de disposición final, al posibilitar en sus diseños estructurales y procedimentales una recirculación más eficiente de materiales potencialmente reutilizables, reciclables o que se constituyan como materia prima para generación de energía eléctrica a partir de calor de incineración, mismos materiales que contienen estos compuestos químicos, orgánicos y metales que terminan de una o de otra forma en los lixiviados .

Manejo y conservación de suelos

En el marco de la Política Nacional para la Gestión Sostenible del Suelo para Colombia, el inadecuado manejo de residuos orgánicos en rellenos sanitarios puede generar problemas de contaminación de suelos y provocar emisiones de gas metano y/o CO₂ (FAO, 2007), incrementando los efectos del cambio climático (MADS, 2016).

“Al no contar con el manejo adecuado para la infiltración de los lixiviados producidos, se posibilita la alteración de la calidad de los suelos en el área del relleno, afectando las características físico-químicas de los mismos como textura, fertilidad, densidad y compactación, produciendo esterilización y eliminación del horizonte orgánico, produciendo restricción de uso de este suelo” (Granda Cortés, 2015).

En el marco de esta NAMA RSM, las alternativas tecnológicas contempladas pueden integrar instrumentos que permitan implementar, intensificar o perfeccionar acciones de manejo y conservación de suelos, en función de la ubicación propia del tratamiento, es decir, las relacionadas con manejo y aprovechamiento del biogás pueden constituirse en aliados en el diseño de ingeniería con los otros procesos de manejo de estabilidad de taludes en los vasos de la actividad de disposición

final, así como las de aprovechamiento energético de residuos, WTE o RDF, podrían indirectamente incidir en las tasas de residuos en la actividad de disposición final y llenado de los vasos, así como de forma directa al implementar los desarrollos tecnológicos más recientes en las técnicas de construcción de las infraestructuras de las plantas de aprovechamiento y en los filtros y sistemas de recirculación o de tratamiento de elementos tóxicos propios de dichas alternativas que reducen la contaminación sobre el suelo en la disposición de las cenizas en celdas con manejo y monitoreo diferenciados.

Las tecnologías complementarias a la disposición final orientadas a mitigar GEI, de igual forma aportan a reducir la presión sobre el suelo en términos de expansión del relleno sanitario, al interior del relleno en el marco de su operación habitual y sus obligaciones legales como se ha contemplado previamente, en las nuevas infraestructuras de tratamiento complementario, así como en las otras actividades propias de la GIRS, entre ellas separación en la fuente y aprovechamiento, en cuanto a la posibilidad de recircular mejor los materiales potencialmente reaprovechables y extender la capacidad de los vasos y celdas activos, así como reducir el impacto sobre el suelo de la generación y disposición inadecuada de los residuos en el espacio público y el paisaje.

Sustitución de materias primas en las industrias locales con material reciclable / reutilizable

Sector Vivienda – Construcción

Existen tendencias de arquitectura verde o sostenible que plantean procesos de recirculación de materiales conocidos en la norma colombiana como residuos de construcción y demolición RCD, así como para el caso particular de algunos subproductos de las tecnologías propuestas en el horizonte de este proyecto de NAMA RSM en fase de alistamiento como los lodos de los tratamientos mecánico-biológicos (TMB) y las cenizas de los hornos incineradores de aprovechamiento energético de residuos y/o biogás. Desarrollos académicos recientes se han enfocado en el análisis de construcciones realizadas con estos residuos enfatizando en que esos flujos cíclicos de materiales por demás eficientes permiten reducir impacto sobre los recursos naturales de otros sectores como el minero extractivista para la consecución y procesamiento de nuevos materiales, a la vez que permiten, por ejemplo, la reutilización de estos excedentes de lodos y cenizas en la fabricación de nuevos bloques o materiales de infraestructura para uso interno del sector o para su uso en industria o en manejo de sistemas viales. Sería importante hacer un análisis costo-beneficio en algunas tecnologías como la WTE del potencial calorífico de algunos materiales como el plástico, la goma y el vidrio *versus* la posibilidad de reutilización en este mismo sector, bajo este mismo precepto.

Esto constituiría a su vez un co-beneficio ambiental de la mitigación de GEI asociados a los residuos en la operativización de una o varias tecnologías complementarias a la disposición final en la o las que se deba hacer separación de materiales, permitiendo definir tendencias de comportamiento en la producción de residuos reutilizables que sirva a su vez de base para una oferta de mercado a los constructores sostenibles.

Reutilizar materiales conlleva a reducir la fabricación de nuevos productos. Reutilizar es volver a usar un determinado producto para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente. De esta forma se minimiza la energía para la extracción y procesamiento de nuevos materiales y el agotamiento de recursos no renovables (Soriano, M. 2013, en Dobón, 2018).

Sector industria - alimentos y abastecimiento

De una forma similar, con el espíritu de la sustitución de materias primas como co-beneficio ambiental de la mitigación del CH₄ de los residuos en tecnologías complementarias a la disposición final, algunas empresas de considerable representatividad en el mercado y en el arraigo cultural e idiosincrasia propios del colombiano, realizan actualmente aprovechamiento de residuos plásticos, envases y empaques en específico. Por esto, también sería el caso de considerar importante un análisis costo-beneficio en una fase ulterior de este proyecto NAMA RSM en tecnologías específicas como RDF y WTE del potencial calorífico de algunos materiales como el plástico y el tetrabrik en comparación con la posibilidad de reutilización en este mismo sector. De esta manera, bien sea reduciendo la llegada de estos materiales a las celdas activas de los rellenos sanitarios mediante la incineración para aprovechamiento energético o mediante procesos de separación y recirculación con el apoyo de los gremios y las comunidades, se estaría constituyendo este co-beneficio.

Alpina cuenta con un programa de reutilización de materiales sobrantes llamado Reutilizando Aprendo. Unilever desarrolla el programa Reciclando a la Lata en alianza con el Grupo Éxito que consiste en la instalación de máquinas electrónicas en las que se depositan botellas plásticas para reciclarlas. Con este material recolectado se fabrican cajas, ollas, tapas, juguetes y fibras de construcción. Alquería inventó un envase plástico que pese a su composición es completamente reciclable y se puede reutilizar para el mismo propósito. Tetra Pak cambió su fórmula este año y ahora sus empaques están hechos con caña de azúcar. De hecho, 82% de sus paquetes está hecho con materias primas renovables (Giraldo, 2018).

Sustitución de fuentes energéticas derivadas de combustibles fósiles

En el marco de implementación de la NAMA RSM para Colombia, en términos de tecnologías complementarias a la disposición final de residuos tales como el aprovechamiento energético del biogás y el aprovechamiento energético de los residuos, el aporte a la gestión ambiental en materia de sustitución de fuentes energéticas derivadas de combustibles fósiles o carbono dependientes vendrá dado en materia de los procesos de recirculación de la energía eléctrica producida al interior de las plantas o unidades generadoras, conforme a cada tecnología y a cada escala de implementación; procesos de recirculación y reconexión que se deben planificar con el sistema de abastecimiento eléctrico tanto en estas centrales, como en los rellenos sanitarios, para el aprovisionamiento de electricidad en oficinas y bodegas, maquinarias, equipos de trabajo y otras infraestructuras asociadas, como podría ser el caso del mismo sistema de alumbrado público rural de dichos municipios y flotillas de vehículos eléctricos, por ejemplo.

La producción de gases como el metano, vapor de agua, oxígeno y nitrógeno, son algunas de las opciones que aporta el aprovechamiento de los residuos sólidos domésticos. El gas depurado puede emplearse en la alimentación de generadores eléctricos, en motores térmicos de gas pobre, en el sector industrial y agrícola, o simplemente introduciéndolos en la red domiciliar de gas natural (UPME, 2002).

En el sector energético se ha desarrollado recientemente un proceso de estructuración de una NAMA de biogás. Sus objetivos se han orientado hacia promover la implementación de proyectos de generación de biogás de origen agropecuario y orgánico para uso como energético complementario o sustituto del Gas Natural y contribuir a la mitigación de GEI mediante la disminución de emisiones

de metano, valorizar energéticamente los residuos generados tanto en las actividades agroindustriales y generar empleo rural de calidad en términos de continuidad y capacitación para la operación y mantenimiento de las plantas de procesamiento y generación de Biogás y eventual enriquecimiento a biometano. (MME, 2017).

Sector energético – biodiésel / Sector transporte - transporte de carga

PepsiCo, en alianza con Doctor Calderón Laboratorios, está procesando envolturas o empaques de snacks para convertirlas en combustible biodiésel, usado en camiones y máquinas. *“El primer proceso para la conversión es seleccionar pacas, luego se compactan y se introducen en un horno de despolimerización catalítica, el resultante, que es un aceite o petróleo sintético, se somete a un proceso de destilación fraccionada y se ajusta para que cumpla los parámetros de utilidad y se use en vehículos u otras tecnologías que requieran el crudo para funcionar”* (Giraldo, 2018).

PepsiCo aporta además su flota de camiones para hacer las pruebas. La construcción de la planta se hizo entre los años 2013 y 2015 junto a las pruebas con automotores y otros vehículos. *“Hoy 20 automotores ya se movilizan con este producto. Por el momento, se tiene pensado expandir el alcance del biodiésel a 90 camiones repartidores en el departamento de Cundinamarca. Gracias a esta iniciativa se reciclan siete paquetes estándar por cada galón de biocombustible producido. La planta tiene la capacidad de generar 1.000 galones mensuales. Este programa cuenta con el apoyo de algunos colegios bogotanos en la localidad de Suba, donde los estudiantes recopilan el plástico que sobra de su lonchera y lo depositan en espacios designados. El centro comercial Plaza Imperial, de la misma localidad, también ayuda con la recolección de la materia prima”* (Giraldo, 2018).

Vinculación con mecanismos de reducción del pasivo ambiental

Uno de los objetivos de las tecnologías complementarias a la disposición final de residuos es *contribuir a la reducción general del impacto ambiental, que de otra forma podría resultar de vertederos no controlados, la quema a cielo abierto o el uso de rellenos sanitarios para los residuos. La reducción del volumen de residuos mediante estas tecnologías complementarias ayuda a ahorrar los escasos espacios valiosos en los rellenos sanitarios y a proteger el medio ambiente* (GIZ, 2017).

La implementación de estas tecnologías permite un control y monitoreo de las emisiones del proceso al aire y al agua incluyendo el tema de olores, controlar la calidad y el potencial de uso de la escoria generada por ejemplo para monitoreo de niveles de contaminación por metales pesados y la eliminación segura o reciclado de residuos de cenizas volantes peligrosas. (GIZ, 2017). Algunos procesos de disposición final *per se*, desarrollan procesos ambientales tales como la elaboración de planes de restauración ecológica para las microcuencas altas de las veredas próximas a los sitios de disposición final (UAESP, 2019).

En adición, de conformidad con lo establecido previamente respecto de la inclusión de los costos inherentes al tratamiento de residuos (entendido éste como actividad alternativa o complementaria a la disposición final) a través de la metodología del cálculo tarifario desarrollada en la Resolución CRA 853 de 2018, y en paralelo con el incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos (IAT) establecido mediante el decreto MVCT 2412 de 2018, se espera que la reducción del pasivo ambiental sea un beneficio en alineación con las metas del ODS 6 orientado a garantizar una gestión sostenible de agua y saneamiento.

Dentro de los beneficios se consideran la separación de los residuos sólidos en sus componentes individuales para que puedan utilizarse o tratarse posteriormente, la reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer y/o la recuperación de materiales o recursos valorizados (MVCT, 2015).

Seguimiento y control de olores

Si bien, la disposición final por sí misma se caracteriza por la presencia de olores fuertes producidos en la descomposición de la materia orgánica (H₂S), las tecnologías complementarias a ésta en el marco de la NAMA de Residuos sólidos para Colombia muy posiblemente sean coadyuvantes con esta temática particular, pues implican movimientos, separación, coprocesamiento e incineración, entre otras actividades previstas en el marco de aplicación de las alternativas tecnológicas.

La posibilidad de monitorear y controlar adecuadamente los procesos de generación de olores en las tecnologías propuestas puede a su vez significar un co-beneficio para impactar positivamente en la dinámica social en torno de la disposición final y el tratamiento de los residuos mediante estas variables tecnológicas.

La manipulación, tratamiento y disposición de residuos están asociados con gran cantidad de contaminantes, pero la existencia de olores ofensivos se debe tener en cuenta por su efecto en las personas. Los residuos domésticos de los municipios o ciudades tienen, por lo general, un alto contenido de materia orgánica, la cual es descompuesta por diversas especies de microorganismos. Varios compuestos olorosos como ácido sulfhídrico, amoníaco, ácidos grasos volátiles y compuestos inorgánicos de sulfuros son generados bajo condiciones de baja presencia de oxígeno, especialmente en sitios de clima templado o cálido (MinSalud - OPS, 2012).

Seguimiento y control de vectores de enfermedades

Si bien, tanto el monitoreo de olores como el de vectores de enfermedades, dadas las características particulares de la operación y el servicio de disposición final, se asocian directamente con los controles operativos de los rellenos sanitarios, se sostiene la aclaración acerca de que las tecnologías complementarias a la disposición final descritas en el horizonte del proyecto podrían posibilitar un mayor control y seguimiento a estos ítems particulares, desde la premisa de que en el proceso organizativo, se requieren más procedimientos para su manejo, tendrá más personal a cargo y se descentralizará la función exclusivamente de la actividad de disposición final, irradiando en las otras actividades de la cadena de valor del sector.

Dando más profundidad a esta afirmación, en las tecnologías complementarias a la actividad de disposición final para el tratamiento de residuos, un manejo más eficiente del biogás por ejemplo, con tecnología de últimas generaciones, permitiría controlar agentes patógenos y químicos potencialmente causantes de enfermedades o alteraciones a la salud ambiental y humana, en mayor medida que la actual disposición final sin manejo de biogás o con quema simple; así mismo, el manejo eficiente de las plantas de aprovechamiento energético de residuos permitiría controlar tanto los agentes bióticos en los hornos de ingreso, como los metales pesados, dioxinas y furanos, en los filtros de las chimeneas y en las celdas especiales de disposición de cenizas.

Los microorganismos aerobios como bacterias, hongos, virus pueden estar asociados con bioaerosoles y sprays resultantes del tratamiento de los desechos. La importancia de estos últimos está en el mayor riesgo a la salud de las personas, asociado a la trasmisión de bacterias y por ende, enfermedades virales, alergias o enfermedades de tipo zoonótico (MinSalud - OPS, 2012).

Por otro lado, el manejo incorrecto de los sitios de disposición final genera la presencia de moscas, ratas y animales domésticos que se comportan como vectores hacia la comunidad aledaña. Las moscas a través del vehículo de recolección alcanzan áreas residenciales más alejadas; por su parte, los roedores encuentran un medio de vida apropiado en los vertederos no controlados y, debido a su gran movilidad, pasan con facilidad a las viviendas causando en ocasiones daño físico o muerte de niños en estado de indefensión (Alcaldía de Bogotá, 2011).

10.3 Descripción de los co-beneficios sociales e institucionales

A continuación, se resume información asociada a co-beneficios sociales e institucionales que pueden hacerse visibles en el marco de la posible implementación de las tecnologías complementarias a la actividad de disposición final para la NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia. Se aclara que los co-beneficios de conocimiento, capacidades, transferencia, formación técnica de trabajadores, han sido entendidos como co-beneficios de tipo institucional, si bien pueden representar en algunos eslabones de la cadena de valor del sector residuos a personas naturales o agremiaciones de personas no vinculadas directamente con la institucionalidad, o bien a personas jurídicas constituidas con el objeto de prestar el servicio.

Generación de empleos permanentes

Las tecnologías complementarias a la disposición final son fuente generadora de empleos claramente identificada por el gobierno internacional y nacional, unos transitorios en la planeación y ejecución de obras y otros procesos, otros permanentes en la operación de las tecnologías.

Según la séptima edición del informe Renewable Energy and Jobs – Annual Review (Energía Renovable y Empleo: Análisis Anual), en 2019, las fuentes de energía limpia emplearon a 11,5 millones de personas a nivel mundial (El Tiempo, 2020), con crecimiento anual de entre 500.000 y 700.000 empleos, con base en los 11 millones del año 2018 y los 10.3 millones del año 2017. En biogás se emplearon 334.000 personas en el año 2019 y en aprovechamiento de residuos municipales e industriales 41.000 personas (Petroquimex, 2019). Sólo en en Argentina, el sector de energías renovables ya emplea a más de 15.000 personas (El Tiempo, 2020).

En el radar del proceso de cambio del sistema económico lineal a economía circular, *en Colombia se ha implementado políticas públicas con respecto a la creación de empleos en las industrias, aprovechamiento de los residuos sólidos, mejoras de tecnología, reducción de generación de residuos sólidos mediante apalancamiento de procesos culturales, aumento de vida útil de los sitios de disposición final del país, formalización de los recicladores, entre otros (SSPD, 2017a).*

En el caso por ejemplo de una planta de aprovechamiento energético de residuos con capacidad de 53 Mh/h para un total de unas 1.300 Ton/día de residuos, se requieren unos 65 empleados permanentes y una cuadrilla de operarios de construcción para su implementación y otras

actividades de mantenimiento de la infraestructura a lo largo de la vida útil del proyecto, conforme al análisis de prefactibilidad desarrollado para una planta WTE en el marco de este proyecto NAMA RSM.

Se espera de parte del gobierno nacional y los gobiernos territoriales una adecuada implementación de estas apuestas de economía circular para el sector residuos y para las actividades específicas de tratamiento complementarias a la disposición final de residuos, de manera tal que se distribuyan de manera equitativa y meritocrática estas plazas laborales, con un adecuado enfoque de género y distribución en el territorio de los profesionales y trabajadores idóneos, con óptimos sistemas de seguridad industrial y salud ocupacional (OSHAS, SST, SYSO, etc.). Se espera igualmente que con la implementación de este proyecto NAMA se pueda impactar directamente en la calidad de vida de entre 50 y 100 familias para los escenarios y alternativas tecnológicas en cada una de las 22 entidades territoriales en las que se ubican los rellenos sanitarios del universo de este proyecto.

Beneficios para las comunidades cercanas al relleno sanitario

Algunas de las tecnologías previstas en el horizonte de operación de esta NAMA RSM contemplan procesos que pueden reducir considerablemente hasta hacer imperceptible el tema de olores asociados a la descomposición de los residuos y particularmente aquellos considerados fracción orgánica y residuos de corte y poda entre otros de pronta biodegradabilidad, como ya fue mencionado en la tipología previa de co-beneficios ambientales; esto constituye de hecho un beneficio para las comunidades próximas al relleno quienes tienen constantes reclamos asociados con esta temática. Igualmente, las poblaciones de aves de rapiña, roedores, insectos y otros animales que pueden ser potencialmente portadores de patógenos provenientes de los frentes de trabajo inherentes a la actividad de disposición final de residuos, se van a ver reducidos en sus poblaciones al reducirse considerablemente los ingresos de residuos directamente a estas celdas de contención y se permitirá una adecuada disposición o recubrimiento diario, conforme a lo establecido por norma nacional.

Así mismo, procesos de responsabilidad social empresarial ya existentes desde las actividades del servicio de aseo, incluidos recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos ordinarios, posiblemente se integrarán como co-beneficios en las tecnologías complementarias a la disposición final previstas en el marco de aplicación de la NAMA de Residuos Sólidos para Colombia.

De igual forma que las medidas ambientales, en algunas zonas de influencia directa de los rellenos se prevé la implementación de medidas de compensación para los centros poblados de las veredas cercanas a estos sitios de disposición final (UAESP, 2019).

Las diferentes normas ambientales y sanitarias propenden por el cumplimiento de los requisitos, mediante acciones orientadas a proteger el medio ambiente y las comunidades cercanas a los sitios de mayor problemática (MinSalud - OPS, 2012).

Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas y de generación de capacidad instalada

Como co-beneficio institucional o social, dependiendo de la naturaleza jurídica del prestador o del actor particular en la aplicación de las tecnologías propuestas para la NAMA de Residuos Sólidos para Colombia, subyace la generación de conocimiento, habilidades, destrezas y capacidades requeridas para el adecuado desempeño de los procesos inmersos en las alternativas modeladas en los escenarios, al igual que la optimización de la actividad de disposición final en algunos otros procesos previstos en este marco de implementación de las tecnologías complementarias. Estas capacidades institucionales, empresariales, corporativas o asociativas, aportan consistentemente al incremento de la calidad en la prestación del servicio desde lo técnico-operativo y en su potencial de replicabilidad y transferencia de conocimiento a escala regional.

Incremento vida útil del SDF

En la búsqueda de la modernización de sus sistemas de gestión de residuos, los responsables de la toma de decisiones locales a menudo se enfrentan con el dilema de la inversión en tecnologías para el aprovechamiento energético de residuos, las cuales se presentan cada vez más como opciones atractivas para resolver no sólo los urgentes problemas de la disposición de residuos sino también varios otros retos simultáneos: escasez en la generación de energía eléctrica, espacios limitados para rellenos sanitarios, y las emisiones de GEI causadas por la disposición inapropiada de residuos. (GIZ, 2017).

La implementación de una tecnología complementaria a la disposición final en el mismo sitio del relleno sanitario *permitiría hacer minería de relleno, la cual apunta a “remediar” los sitios de disposición, pues el material para hacer combustión serían los residuos dispuestos durante años en el relleno, además de recuperar materiales valiosos para la industria. Por otro lado, tecnologías complementarias, por ejemplo, las de tratamiento térmico, son capaces de tratar más tipos de residuos que solo los orgánicos, pues en gasificación, pirólisis o incineración se pueden tratar residuos de madera, plástico, papel, cartón, llantas entre otros, pueden reducir en más de un 90% en masa la cantidad de residuos después de su tratamiento. (GIZ, 2017).*

La implementación de un proceso térmico de aprovechamiento de residuos sólidos, tiene la ventaja que se pueden tratar los residuos en la misma velocidad que se generan, es decir no hay “almacenamiento”, esto limita y elimina la emisión de olores ofensivos, limita y elimina la proliferación de vectores, no se generan lixiviados, la afectación de suelo es mínima y cumpliendo con los requerimientos de lavado de gases, no se generan emisiones importantes de contaminantes a la atmósfera. (GIZ, 2017).

En Anthesis Lavola consideramos que, el efecto de este co-beneficio en términos generales, más allá de lo social e institucional, es fundamental (y por ello imprescindible en la nota concepto), dado que podría ser entendido como transversal tanto en términos ambientales de reducción de impacto y control de la demanda de la actividad como tal, pudiendo extender la vida útil de los rellenos hasta cuatro o cinco veces más de lo previsto sin estos escenarios tecnológicos propuestos, como en términos económicos financieros de manejo sectorial de la gestión integral de residuos integrado a

los procesos de administración del territorio con una estructura de costos y recaudos vía tarifa para integrarse con otros instrumentos y mecanismos financieros.

Aportes, desarrollos y difusión de la tecnología por parte de los operadores (Fortalecimiento de la industria nacional)

Respecto de la gestión de residuos sólidos y de tecnologías complementarias a la disposición final, *“el sector empresarial no ha sido inferior a su compromiso al promover, tecnificar e invertir en sistemas adecuados”*. Esta transformación se ve en algunos rellenos sanitarios referentes internacionales en diseño y operación de los sistemas de *aprovechamiento de biogás producido por los residuos y en el uso para riego del agua del tratamiento de los lixiviados; también en la tecnología de ultrafiltración para tratar los lixiviados, así como en programas para el monitoreo de biodiversidad*. (Andesco, 2020).

Incremento de la formación (técnica / profesional) de los trabajadores internos

Las operaciones altamente complejas de algunas tecnologías complementarias a la disposición final de residuos *requieren habilidades técnicas y gerenciales bien desarrolladas. Pueden resultar más complejas que la operación de un relleno sanitario. Únicamente gerentes, ingenieros y técnicos con capacidad y experiencia comprobadas, deberán ser asignados a funciones clave. Si el personal calificado no está disponibles a nivel local, se deberán contactar expertos internacionales a largo plazo y se deberá realizar un programa de desarrollo de capacidades*. (GIZ, 2017).

Alianzas y experiencias con la academia para el desarrollo, uso y/o difusión de la tecnología

La experiencia reseñada en la sustitución de combustibles fósiles por biocombustible derivado de plástico reciclado contempla una alianza con la academia para el adecuado desarrollo de la tecnología. *La primera tanda de biocombustible salió en 2016, en ese año ya se habían realizado algunos ensayos en el Centro de Prueba de Dinámicas Automotrices en la Universidad Tecnológica de Pereira, por lo que decidieron implementarlo a escala real con los buses de PepsiCo*. (Giraldo, 2018).

10.4 Descripción de los co-beneficios económicos

En los numerales siguientes se resume información asociada a los co-beneficios económicos que pueden percibirse en el marco de la posible implementación de las tecnologías complementarias a la actividad de disposición final para la NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia. Se destacan diferentes mecanismos para acceso a recursos, para reducción de costos y para incremento de ingresos o flujos financieros en general.

Respecto de esta temática de costos, en el siguiente capítulo (10) se desarrolla a profundidad con un concienzudo análisis costo-beneficio respecto de reducir una tonelada de GEI de cuenta de cada tecnología en los rellenos del país objeto del universo de esta NAMA; no obstante, en términos generales se definieron costos de los proyectos de mitigación para cada alternativa prevista en el marco de dos líneas estratégicas de inversión e implementación, así como costos de gobernanza y

otros costos de las tecnologías propiamente. Las dos líneas estratégicas se desarrollaron en función de la naturaleza de los residuos, una para los RSM que ya han sido dispuestos en los rellenos sanitarios objeto de esta NAMA y otra para los residuos frescos que son recolectados en las APSs municipales/distritales de influencia del relleno respectivo y transportadas a las zonas de manejo especial para la GIRS donde se ubican los rellenos sanitarios, las plantas de tratamiento y las demás infraestructuras y sistemas complementarios en la gestión integral de residuos sólidos.

Así mismo, en los análisis de prefactibilidad de las dos propuestas tecnológicas que se contemplaron en esta fase de alistamiento del proyecto NAMA RSM igualmente se profundizaron, llegando a conclusiones específicas tales como que, “dada la gran capacidad de producción de energía de la tecnología WtE, los ingresos de este relleno sanitario particularmente (La Glorita, Pereira) se ven fuertemente impactados por la generación de energía. Dado esto, el flujo descontado a 2051 permite generar un Valor Presente positivo USD \$ 19.078.191 y una tasa interna de retorno (TIR) del 13% teniendo en cuenta una inversión de capital inicial de USD \$ 243.892.900” (Anthesis Lavola, 2020).

Acceso a recursos vía tarifa para apalancar la implementación de las tecnologías

Conforme a los desarrollos del decreto 2412 de 2018 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio que reglamenta el marco tarifario para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de residuos, sumados a los de la resolución CRA 0853 de 2018 que hace referencia a los costos de tratamiento y en particular, a la estimación del costo de las alternativas a la disposición final, las personas prestadoras del servicio de aseo que operen rellenos sanitarios podrán integrar en sus estructuras tarifarias, los costos que se requieran para el desarrollo de este tipo de proyectos de infraestructura complementarios a la disposición final.

El decreto 2412 de 2018 en específico, reglamentó el Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (IAT) incluida la metodología para su cálculo, facturación, recaudo, asignación y uso de recursos, así como su seguimiento y control en todo el territorio nacional.

La estructura de recaudación y asignación de recursos corresponderá a las administraciones de las entidades territoriales que hayan definido en su PGIRS proyectos de aprovechamiento viables, las cuales convocarán al comité del incentivo que se encargará de estudiar la aprobación o negación del proyecto y sus recursos recaudados mediante el mecanismo de incentivo, el proyecto deberá ser formulado y ejecutado por la empresa prestadora, quien reportará periódicamente al SUI mientras la entidad territorial correspondiente hace seguimiento al proyecto.

Reducción de riesgo en el pago de infracciones por incumplimiento de la normativa ambiental

La legislación debe requerir que las instalaciones para el aprovechamiento energético de residuos estén sujetas a una evaluación de impacto ambiental y permisos bajo las leyes nacionales sobre control de emisiones y/o residuos. Los umbrales de emisiones y los requisitos de seguridad deben ser controlados con base en estándares legalmente vinculantes. Los valores de los límites de emisiones impuestos sobre plantas de aprovechamiento energético de residuos deben cumplir con normas de reconocimiento y aplicación internacional. La aplicación de estándares ambientales demasiado bajos e insuficientes resultará en riesgos adicionales para la salud pública y en costos ambientales (GIZ, 2017).

Reducción de costos bien sea por generación de energía al interior del relleno, por sustitución de combustibles fósiles o de agroquímicos para jardinería

Las tecnologías complementarias a la disposición final tienen como producto principal la energía eléctrica, producto de mayor valor agregado que el de compostaje o la lombricultura, y de mayor mercado que éstos. Así, el aprovechamiento de los residuos sólidos aparece como una oportunidad de valorización y alternativa de producción de energía a partir del procesamiento de los mismos. Este aprovechamiento hace referencia al uso de tecnologías para la generación de energía en forma de calor, electricidad o combustibles alternativos como biogás, a partir del tratamiento térmico o biológico de residuos. (UPME-INERCO, 2018).

En la industria cementera europea, el índice de sustitución térmica de los combustibles fósiles por residuos puede alcanzar hasta un 80% en ciertas instalaciones (promedio a lo largo de un año), mientras que el índice de sustitución en la UE está alrededor del 39% (GIZ, 2017).

Reducción de costos por campañas de prevención de enfermedades

Las actividades de disposición final y tratamiento complementario en el marco de la NAMA de residuos sólidos, conllevan un proceso permanente de seguridad industrial y salud ocupacional tanto interno como de monitoreo de las condiciones del entorno y sus habitantes circunvecinos, tomando como ejemplo las cifras de Cruz Roja de Colombia sobre prevención de desastres, con cada peso que se invierta en prevenir estas enfermedades se estará evitando usar diez pesos en el manejo de las problemáticas de salud a que puedan conducir (RCN Radio, 2014).

Incluir medidas de gestión ambiental para evitar consecuencias a la salud derivadas de los proyectos de desarrollo requiere la acción y la inversión de otros sectores ajenos al sector de salud. Es necesario que los ministerios y las autoridades locales o empresas privadas tengan la convicción, a partir de evidencias sólidas, de que las inversiones en la salud valen la pena y que se traducirán en mayores oportunidades de éxito, sostenibilidad y, que finalmente, significarán una rentabilidad económica para los proyectos. Por consiguiente, es crucial que los beneficios de tales medidas para la salud (y los costos de no incluirlos) se traduzcan en términos económicos que puedan ser parte de un balance mayor de inversiones y ganancias. (OMS, 2020).

Respecto de la seguridad y salud operativa en las tecnologías complementarias a la disposición final, ésta debe estar bien desarrollada y se debe mantener contacto frecuente con autoridades

ambientales, el municipio, comunidades locales, la sociedad civil y otros actores. De la misma forma, el personal operativo debe estar debidamente capacitado conforme a las necesidades específicas y acorde con la naturaleza de los residuos o en el marco de cada tecnología complementaria. (GIZ, 2017).

Reducción de costos en combustible de las flotas de transporte de residuos

Directamente se afectan los flujos de residuos sólidos desde la actividad de recolección del servicio público de aseo hasta la de disposición final dado que, en el desarrollo de las tecnologías complementarias a la disposición final, se contemplan nuevos direccionamientos de estos flujos hacia estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECAs), estaciones de transferencia y plantas de tratamiento, afectando por ende costos por combustibles (ACPM, Gasolina, Gas Vehicular), peajes y rodamiento. (Arias, 2019).

Las estaciones de transferencia, por ejemplo, buscan optimizar los costos y tiempos de servicio en el sistema de recolección de residuos sólidos de una ciudad o unidad territorial. Esto empieza a ser factible cuando la demanda del servicio, es decir, la generación de residuos sólidos, supera significativamente la capacidad de atención, o sea la actividad de recolección, de tal modo que en un horizonte de planificación de entre 5 a 10 o 15 años, la inversión económica realizada para la implementación del sistema de transferencia se recupera. (Casas, 2013).

Incremento de ingresos por venta de bonos de carbono en el mercado voluntario

Los problemas de eficiencia y efectividad asociados a los mecanismos de comando y control de la contaminación ambiental han generado la necesidad de implementar mecanismos de regulación enfocados a incentivar comportamientos en vez de determinar conductas. De esta manera, los Estados han reconocido que se pueden generar mecanismos regulatorios económicos mediante los cuales se impone un precio a las actividades que menoscaban el ambiente, y con ello, generar instrumentos que implican permisos para emitir gases y mercados de emisiones para proteger el ambiente. (CRA, 2019).

Estos mecanismos regulatorios se traducen en los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Se pueden vender certificados de reducción de emisiones tanto por reducción como por desplazamiento de consumo de combustibles fósiles. (GIZ, 2017).

El mercado voluntario de carbono en Colombia, por su parte, vigente desde 2016 y en el marco de las metas asumidas por el país en el acuerdo de París, constituye un primer paso para que las empresas que emiten GEI comiencen a cambiar sus prácticas productivas y a medir su huella de carbono. Por su parte, tras contar con el respaldo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, la Bolsa Mercantil de Colombia se ha encargado de realizar las operaciones del Mercado Voluntario de Carbono. (AAYS, 2016). Potencialmente la NAMA RSM podría entrar a generar bonos y transarlos en el mercado voluntario, como una alternativa de ingresos a los proyectos de cambio tecnológico en los rellenos sanitarios. Es importante aclarar que esta opción de ingresos por esta vía trae el riesgo de que se generen fugas de las reducciones en el sector a hacia otros sectores o hacia otros mercados internacionales, es importante que se generen los acuerdos institucionales que eviten un posible desequilibrio en las metas de cumplimiento sectorial de la NDC.

Incremento de ingresos por venta de energía a la industria local

El co-procesamiento, por ejemplo, hace relación al uso de materiales derivados de residuos para reemplazar recursos minerales naturales (reciclado de materiales) y/o combustibles fósiles tradicionales como carbón, petróleo y gas natural (recuperación de energía) en procesos industriales. El co-procesamiento se aplica a nivel mundial principalmente en la industria cementera y en plantas termoeléctricas; en algunos casos también en la industria de acero y cal. (GIZ, 2017).

Ubicar las operaciones de tecnologías complementarias a la disposición final en lugares donde el uso de energía térmica (calefacción o enfriamiento) o de la electricidad generada se pueda asegurar durante todo el año, es un factor importante que incrementa la probabilidad de ingresos confiables. Por este motivo, las infraestructuras desarrolladas para tal fin deben ubicarse en parques industriales, a poca distancia de las fuentes de residuos. (GIZ, 2017).

En términos generales sobre la temática de co-beneficios asociados con las alternativas tecnológicas de las acciones de mitigación específicas, Anthesis Lavola reitera que los co-beneficios susceptibles de cuantificación para las fases posteriores que den lugar en este proyecto, en la reducción de contaminación por lixiviados que, conforme a cada tecnología vendrá un porcentaje de reducción asociado, por ejemplo en el caso de una WTE es una reducción del 100% de lo que se deja de disponer en el relleno y se lleva a la planta. También se pueden monitorear temas de empleo y de producción de energía, por ejemplo, su cuantificación es posible en cada caso y de hecho se profundiza en la prefactibilidad.

10.5 Limitantes, barreras y brechas

La introducción de tecnologías de aprovechamiento energético de residuos a menudo pelagra a causa de obstáculos comunes, tales como la falta de sistemas tarifarios para fondear los costos de inversión y de operación, la aplicación insuficiente de la legislación ambiental y el número limitado de personal calificado para la operación eficiente y efectiva de los sistemas instalados. Si estos aspectos no se toman en consideración, los proyectos de aprovechamiento energético de residuos corren el riesgo de fracasar a expensas de los municipios y del medio ambiente local. (GIZ, 2017).

En el caso del contexto nacional, durante los últimos años se ha documentado el proceso de diseño y construcción de una planta de tratamiento de residuos en el departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Un proceso que permite una ejemplificación de algunas barreras y limitantes que pueden presentarse durante estas etapas iniciales de adopción de una tecnología complementaria a la disposición final o tratamiento, tales como una alta demanda de inversión de recursos que requiere varios socios inversionistas y varias inyecciones de capital, posible sobrecosto por imprecisiones en los estudios o dilaciones en los procesos, recursos de los planes departamental y nacional de desarrollo articulados temporalmente, detalles técnicos y normativos que han ralentizado la gestión entre apelaciones en unos casos y nivelaciones técnicas y competencias específicas para llevar a cabo la implementación de la planta, todo esto en un escenario de crisis social en torno al manejo inadecuado de residuos en estos mismos años en un territorio insular sin posibilidad de alternativas a la disposición final

A continuación, se presentan las limitantes y barreras que fueron mapeadas en paralelo con los co-beneficios en el contexto de la región de Latinoamérica y el Caribe y que además fueron sometidas a proceso de validación y ponderación mediante el taller del día 07-09-2020 (Anexo 5) en el marco de la Cámara de Residuos de Andesco. En este caso la tecnología WTE o de aprovechamiento energético de residuos fue la de mayor representatividad en puntos porcentuales acumulados con 354, seguida de la tecnología de RDF o Combustible Derivado de Residuos con 235 puntos. En otras palabras, al someter las posibles limitantes y barreras de las cuatro tecnologías socializadas en la gira nacional virtual los territorios, tanto waste to energy como combustible derivado de residuos fueron los que, a consideración del público asistente a los diferentes talleres, fueron las dos tecnologías que podrían tener más barreras de diversos tipos en la aplicación de la NAMA RSM en territorio colombiano. Esto evidenciaría las barreras de tipo socio-cultural en general que pueden acarrear estas iniciativas tecnológicas, las cuales se hacen presentes indirectamente en las limitantes planteadas. Por otro lado, lo cierto es que, de una u otra forma, en menor o mayor proporción, en todos los casos de las tecnologías analizadas en el horizonte de este proyecto NAMA RSM se asociaron todas las limitantes y barreras mapeadas en el análisis previo.

Tabla 37. Limitantes, barreras y brechas de las tecnologías complementarias a la disposición final

Limitante / barrera	% por Tecnología				Total
	TM +OBC/ TM+BC	RGV+Q /+AE/ OAEB	RDF	WTE	
Limitantes en los sistemas tarifarios para fondar los costos de inversión y operación	14	29	23	34	100
Limitantes de crédito y mecanismos financieros para inversión	13	14	28	45	100
Riesgos de mercado para la(s) tecnología(s) y sus productos	23	17	23	37	100
Brechas en la aplicación de la legislación ambiental para la tecnología /otras limitantes normativas o de regulación	13	8	33	46	100
Barreras de tipo tecnológico, de acceso a la información y al conocimiento que generan escepticismo hacia estas tecnologías	14	0	36	50	100
Limitantes en los procesos de asistencia técnica y control de las instituciones del Estado y de relaciones con los agentes del mercado	17	10	30	43	100
Limitantes de personal calificado para la operación eficiente y efectiva de los sistemas, infraestructuras y procesos que implican las tecnologías	8	8	32	52	100
Altos costos de operación y mantenimiento que ponen en riesgo la sostenibilidad financiera	3	20	30	47	100
Total por cada tecnología	105	106	235	354	100

Fuente: Elaboración propia de la consultoría. Nota: Los valores corresponden a la ponderación automática realizada en el software Mentimeter para las aproximaciones de participación en territorios.

Limitantes en la aplicación de los sistemas tarifarios para fondar los costos de inversión y operación

Aún cuando no es posible considerar la estructura tarifaria de los servicios públicos, en este caso aseo, como el único factor de financiación para los proyectos contemplados en el horizonte de esta NAMA RSM, dado que estaríamos invisibilizando otros instrumentos tales como incentivos, tasas, subvenciones, etc., que permitirían dar cierres financieros oportunos a dichas iniciativas, y los cuales se abordan en su capítulo respectivo de instrumentos financieros; es importante enfatizar en estos esquemas tarifarios como limitantes o barreras para este caso particular de las tecnologías de aprovechamiento energético de biogás y de residuos sólidos a grosso modo.

Si bien, como ha sido reiterativo a lo largo del documento, el desarrollo en paralelo del decreto 2412 de 2018 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio que reglamenta el incentivo a las actividades de aprovechamiento y tratamiento de residuos de la cadena de valor del sector, con la resolución CRA 0853 de 2018 para municipios menores a 5000 suscriptores (como complemento a la resolución CRA 720 de 2014 para municipios con más de 5000 suscriptores) que desarrolla un capítulo sobre los costos de tratamiento y enfatiza en el costo de las alternativas a la disposición final; han significado una reducción considerable en esta brecha jurídico normativa traducida a lo financiero y consecuentemente a lo técnico-operativo de las tecnologías complementarias inscritas dentro del horizonte de aplicabilidad de la NAMA de residuos sólidos para Colombia para territorios pequeños con principio constitucional de descentralización administrativa; resta entonces que las estructuras de funcionamiento operativo de los instrumentos financieros y de gestión de las bases para el nuevo marco tarifario sean eficientes, que sea un sistema en constante evolución y permita evidenciar cambios a mejora, tal como se planificó, con base en las metas de reducción de residuos tomadas como referencia y que no se afecte por vicios administrativos o dilaciones asociadas a su manejo en general.

Los proyectos de aprovechamiento energético de residuos requieren altas inversiones no sólo para el proceso de tratamiento mismo sino también para la mitigación de los riesgos operativos (accidentes, incendios, etc.). Los costos de operación y mantenimiento (O y M) de las plantas de aprovechamiento energético de residuos son considerablemente mayores que los costos de rellenos sanitarios. El financiamiento asegurado y permanente es clave para cualquier sistema de gestión de RSU funcional. El municipio debe asegurar que los requerimientos financieros se podrán satisfacer. Como esto no siempre es posible mediante las tarifas pagadas por los residuos, se deberán considerar otras alternativas de financiamiento adicionales (GIZ, 2017).

Se debe entender que algunas tecnologías complementarias a la disposición final generan costos de tratamiento de residuos mayores que los rellenos sanitarios, lo cual impulsa a los generadores de residuos a optar por la opción de disposición actual. Los altos costos de la inversión inicial tienden a ser una barrera importante para los proyectos de implementación de tecnologías complementarias a la disposición final de residuos en países en vías de desarrollo. (GIZ, 2017)

Se espera que sea un sistema en constante evolución y permita evidenciar cambios a mejora, tal como se planificó con base en las metas de reducción de residuos tomadas como referencia y que no se afecte por vicios administrativos o dilaciones asociadas a su manejo en general.

Limitantes de crédito y mecanismos financieros para inversión

En países en vías de desarrollo, puede haber fondos disponibles para la inversión inicial, sin embargo, los recursos financieros para la fase de operación a menudo no están contemplados en cantidades suficientes. Para comparar y evaluar la viabilidad financiera de la operación de una tecnología complementaria a la disposición final determinada, se deben anualizar los costos de inversión y los costos operativos esperados. (GIZ, 2017).

Si bien, el nuevo marco tarifario para aprovechamiento y tratamiento complementarios a la actividad de disposición final ha resuelto en el contexto del gobierno nacional, en parte, este planteamiento tanto para temas de inversión como de operativización, aun aplicando los mecanismos financieros previstos en el decreto 2412 de 2018, la inversión requerida en materia de aprovechamiento y tratamiento complementario a la disposición final es muy alta, por lo que la transparencia en el manejo de los recursos resulta fundamental para su adecuada concreción. Se estiman unos 30 mil millones de pesos que se requieren apalancar con estos instrumentos durante la década 2020-2030. (SSPD-MVCT-DNP, 2017, en MVCT, 2019). En adición, es posible que se requiera inversión privada y créditos de la banca del primer piso inclusive para dar viabilidad financiera a algunas de las propuestas que tengan dificultades con los giros y desembolsos financieros provenientes de los incentivos por aprovechamiento y tratamiento.

Las tecnologías complementarias a la disposición final requieren en muchos casos importantes inversiones de capital y deben estar respaldadas por una planeación financiera a largo plazo, y suficientes recursos como para garantizar la operación y mantenimiento continuos de las infraestructuras y los procesos. (GIZ, 2017).

Riesgos de mercado para la(s) tecnología(s) y sus productos:

La evolución de las tecnologías en menos de una década ha sido un factor de reducción de riesgo dado que ahora se puede controlar en mayor medida la producción de subproductos y residuos en las plantas de aprovechamiento energético de biogás y de residuos. Tal es el caso de esta cita de OPS del año 2012 en la que se nota claramente la reticencia a dar el paso a la implementación de la tecnología, que se encuentra en el horizonte del proyecto NAMA RSM

En los rellenos sanitarios, el biogás es quemado en chimeneas, para disminuir los olores molestos; aunque podría usarse como combustible, la presencia de ácidos grasos volátiles y gases corrosivos como el H₂S pueden hacerlo técnica y económicamente inviable (MinSalud - OPS, 2012).

Lo cierto es que los riesgos de mercado para las tecnologías verán reducidas sus brechas en función de los adelantos tecnológicos que se desarrollen en el marco de la implementación del aprovechamiento energético en el sector residuos.

Por otro lado, tecnologías específicas como Waste to energy o RDF, dependerán considerablemente de la producción de residuos como proceso cultural emergente y de los ejercicios regulatorios y normativos a que esto dé lugar, en otras palabras, el riesgo de mercado vendría dado en la medida de una revolución de los procesos culturales en los patrones de consumo que redujera considerablemente la generación de residuos, así como de políticas y regulaciones que coadyuvasen en dicho propósito.

En cuanto a las empresas, su visión está guiada por la posibilidad de hacer negocios lucrativos con los residuos rescatados. Si bien en algunos casos contribuyen a crear empleos de calidad e influyen favorablemente en el medio ambiente, la necesidad de mantener la rentabilidad hace que el negocio se haga dependiente de oscilaciones del mercado. Vemos así que la baja internacional del precio del petróleo derivó en la pérdida de rentabilidad en la recuperación de ciertos plásticos, con lo que éstos volvieron a terminar en cursos de agua y vertederos (OIT, 2017).

En este punto, Anthesis Lavola considera que es importante asegurar la posibilidad de implementar las tecnologías mediante la aplicación de instrumentos normativos del nivel nacional, más allá de las limitantes del mercado y las fluctuaciones en los productos con función similar en los mismos.

Brechas en la aplicación de la legislación ambiental para la tecnología /otras limitantes normativas o de regulación

En la mayoría de los países en vías de desarrollo y emergentes, existe una legislación ambiental. Sin embargo, la regulación de plantas de aprovechamiento energético de residuos es inexistente en muchos casos, o bien es muy general y no ofrece el marco legal necesario para diseño y aprobación, ni para operación y monitoreo. Esto aplica también al proceso de implementación, en donde en la mayoría de los casos no se dispone de personal calificado ni de recursos financieros para esta tarea. (GIZ, 2017).

La legislación ambiental, en la mayoría de países no desarrollados presenta un atraso con respecto a los avances tecnológicos en el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos municipales, por lo cual se sugiere seguir como referencia normas ya establecidos en países desarrollados, por ejemplo, la Directiva Europea sobre la incineración de residuos (Directiva sobre Emisiones Industriales 2010/75/ EU, [12]). (GIZ, 2017), para así agilizar la implementación de este tipo de proyectos y lograr una mayor eficacia en las acciones de mitigación ambiental propuestas.

La legislación colombiana reconoce los residuos como fuente de energía eléctrica que puede inyectarse a la red (Ley 1715 de 2014) pero aún no se han definido los aspectos tarifarios ni de subsidios. Tampoco existe en Colombia un marco normativo puntual ni regulación tarifaria que permita inyectar la energía generada con RSU a la red interconectada del país, siendo uno de los principales obstáculos al momento de desarrollar iniciativas de aprovechamiento energético.

Si bien existen elementos interesantes a tener en cuenta como el marco político de la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016), el marco de regulación tarifario de la CRA orientado a través de las resoluciones 0720 de 2014 y 0853 de 2018, entre otras, los incentivos del decreto 2412 de 2018 para aprovechamiento y tratamiento de residuos; todo esto en sinergia con los desarrollos en materia de gestión del cambio climático en territorio nacional encontrados desde el documento Conpes 3700 de 2011 hasta el decreto 298 de 2016, la ley 1931 de 2018 y los reportes anuales a la NDC colombiana, los hallazgos y elementos en intersección funcional podrían potencialmente permitir reducir esta brecha en función de un instrumento integrador o articulador para el desarrollo específico de las tecnologías de aprovechamiento energético de residuos sólidos y otros derivados de la actividad de disposición final.

Barreras de tipo tecnológico, de acceso a la información y al conocimiento que generan escepticismo hacia estas tecnologías

Desde las mismas instituciones y empresas prestadoras de los servicios que el Estado debe proporcionar a los ciudadanos y habitantes en general de su soberanía territorial y en el mismo proceso de gestión de alternativas para la implementación de las tecnologías contempladas en el horizonte de la NAMA RSM en contextos locales específicos y de comunicación en territorios acerca de los avances del proyecto, ha sido evidente que existe un nivel de escepticismo y de desmotivación en cierto modo, a la aceptación y adopción de dichas tecnologías en los rellenos sanitarios de las entidades territoriales seleccionadas para dicho proceso divulgativo, la sensación generalizada es que se prevé para un horizonte del muy largo plazo o que requiere en gran medida apalancamiento y acompañamiento financiero y técnico permanentes de parte de la comunidad internacional para las agencias de desarrollo y los gobiernos nacional y territoriales en la implementación del proyecto. Respecto de las restricciones a los avances tecnológicos como tal, vendrán dados por los costos de las tecnologías más recientes y por las relaciones internacionales con los diferentes proveedores.

Los diseños de bajo costo pueden diferir bastante del diseño de plantas en países con altos niveles de ingresos, por ejemplo, al omitir sistemas de respaldo técnico como bombas, tuberías, sistemas de control electrónico, un segundo horno, o sistemas apropiados de filtros para el gas de combustión. (GIZ, 2017).

Por otro lado, analizando este punto en la agenda de desarrollo de varios Estados, se encontraron algunas barreras de tipo cultural que indirectamente impactan en las decisiones políticas. Ejemplo la postura rígida de no aceptación de la tecnología de incineración en el contexto uruguayo. *Cabe mencionar la posibilidad de recurrir a la valoración energética como estrategia para el destino final de los residuos, si bien esta opción puede ser válida para un cierto tipo de residuos, como ser los provenientes de algunas actividades agropecuarias (biomasa), el gobierno nacional de Uruguay por ejemplo, no considera que sea la más adecuada como línea rectora en dicho país para los residuos sólidos urbanos o asimilables a ellos. En particular se han opuesto firmemente a la incineración como solución, no solo económicamente inviable para el país sino con riesgo de generar mayores problemas ambientales que los que pretende solucionar, como surge de diferentes experiencias internacionales. (OIT, 2017).*

Limitantes en los procesos de asistencia técnica y control de las instituciones del Estado y de relaciones con los agentes del mercado

En algunos espacios de socialización de este proyecto se hizo evidente un aporte que manifiesta una temática recurrente en materia de procesos de acompañamiento y asistencia de las instituciones del gobierno para la gestión ambiental y de residuos sólidos, así como para los procesos recientes de gestión del cambio climático, algunos procedimientos que sufren dilaciones por saturación de la capacidad administrativa para dar respuestas oportunas, algunos casos que no existe dicha aproximación y seguimiento en regiones y territorios más apartados y otros en los que los proyectos asociados y procesos de asistencia técnica y financiera no han logrado surtir los efectos esperados en materia de asignación de recursos y consecución de metas concretas en unos casos, o de dar continuidad a las obras de infraestructuras iniciadas o por inaugurar y comenzar a operar en otros casos.

Es fundamental que las instituciones del gobierno nacional y territorial diseñen una estrategia de asistencia técnica y procesos de monitoreo y control para aquellas propuestas puntuales que se vayan a viabilizar en la fase de factibilidad, con el fin de reducir estas limitantes en los procesos respectivos de acompañamiento a los territorios de parte del gobierno nacional y evitar así temas como por ejemplo el uso de materiales de menor calidad para optimizar costos de implementación en las redes o instalaciones de cada tecnología.

Una oportunidad de ahorro en el costo de inversión puede hacerse evidente en el uso de calidades inferiores de acero para componentes expuestos a esfuerzos mayores en la planta, como el horno o el edificio de la planta (GIZ, 2017). Los laxos procesos de control y los ineficientes o inexistentes procesos de asistencia técnica para la implementación de las tecnologías complementarias a la disposición final pueden ser causa de estas modificaciones arbitrarias.

Esto resulta en el aumento del riesgo de fallas imprevistas y tiempos inactivos más largos debido a la falta de sistemas de respaldo, al mismo tiempo que los componentes críticos pueden sufrir de altos niveles de corrosión acortándose la vida útil operable de la planta. Ello puede aumentar los costos operativos y de mantenimiento en forma significativa, y reducir el índice de utilización y los ingresos de la venta de residuos tratados o de energía. Por lo mismo, no se podrá garantizar un suministro continuo de energía y, en el peor de los casos, la planta dejará de operar al paso de pocos años. (GIZ, 2017).

Limitantes de personal calificado para la operación eficiente y efectiva de los sistemas, infraestructuras y procesos que implican las tecnologías

Ligado indirectamente con las limitantes previas de tipo tecnológico, cultural, político e institucional, se han identificado limitantes asociadas con los procesos de formación técnica y profesional en el contexto nacional, dado que no existe aún un desarrollo concreto de las tecnologías o de su transferencia tecnológica a nuestro país que se vea reflejado en los planes de estudio y contenidos curriculares de los programas de formación formal y no formal que se establecen en el Ministerio de Educación Nacional, y que a su vez constituyan capacidad instalada para las empresas e instituciones que la demanden en el marco de la aplicación de las políticas de estado, en particular las de GIRS y GICC para la implementación de unidades y plantas de aprovechamiento energético de residuos y otros subproductos de la actividad de disposición final tales como el biogás, las cenizas y los lodos. Por tanto, resulta fundamental en la reducción de esta brecha incorporar en el apoyo técnico de las instituciones del Estado, en la irradiación de este proyecto, a las universidades con enfoque técnico y tecnológico, así como los centros de formación existentes como el Servicio Nacional de Aprendizaje y similares, a integrar en sus programas de formación estas nuevas ofertas educativas.

Las plantas de aprovechamiento energético de residuos no son cajas negras fáciles de manejar para la generación de electricidad, gas, calor o vapor, sino tecnologías sofisticadas que requieren personal capacitado y mantenimiento regular (GIZ, 2017). La Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), en la línea de tecnologías complementarias a la disposición final de aprovechamiento energético de los residuos, sugiere que se pueda contratar y retener personal calificado, y que los empleados existentes reciban capacitación en forma regular. No obstante, para algunas tareas técnicas y gerenciales se deberá considerar la subcontratación. Aún más, si el personal

calificado no está disponibles a nivel local, se deberán contactar expertos internacionales a largo plazo y se deberá realizar un programa de desarrollo de capacidades. (GIZ, 2017), (OIT, 2017).

Altos costos de operación y mantenimiento que ponen en riesgo la sostenibilidad financiera

Si bien los altos costos de la inversión inicial tienden a ser una barrera importante para los proyectos de tecnologías complementarias a la disposición final de residuos en países en vías de desarrollo, se han hecho intentos para lanzar proyectos de menor costo en el mercado con un estándar técnico básico para países de bajos ingresos, pero hasta ahora la experiencia en estas soluciones es muy limitada, y resta comprobar si estas plantas logran cumplir con los estándares técnicos y de emisiones en forma exitosa en el largo plazo. (GIZ, 2017).

Las tecnologías de aprovechamiento energético de residuos pueden mejorar la gestión de residuos en las ciudades de rápido crecimiento de países en vías de desarrollo y emergentes, pero su aplicación es compleja y debe considerar, entre otras cosas, los altos costos de inversión y operación que no se pueden recuperar mediante las tarifas existentes y los ingresos adicionales generados de la venta de energía únicamente. (GIZ, 2017).

Las tecnologías complementarias a la disposición final de WTE aprovechamiento energético de residuos y RDF Combustible derivado de residuos, demandan mayor apropiación por parte de los diferentes actores desde los niveles centrales de gobierno, hasta los territoriales y los diversos inversores adscritos al sector privado en general, dado que su apalancamiento político - jurídico y técnico-financiero son más demandantes cuánto más en vía de desarrollo se ubique el contexto del proceso de mitigación a escala nacional. Por su parte, los altos costos de estas tecnologías incluyendo el tratamiento mecánico biológico, hacen compleja su financiación en tanto no se desarrolle un nuevo marco tarifario que incorpore los desarrollos técnicos y financieros de esta propuesta y sus similares en el ejercicio de la planificación y gestión del cambio climático y ambiental nacional.

Apreciaciones en este mismo orden de ideas fueron resultado de la participación del taller de co-beneficios del 07-09-2020 (Anexo 5). En primera medida aclararon que se requiere apoyo y normatividad que promueva mercados para productos y subproductos, en especial del Tratamiento Mecánico y el aprovechamiento de residuos orgánicos biodegradables, así mismo se requiere controlar la fabricación de envases y productos que no pueden ser reciclados, fortalecer los procesos culturales y educativos de separación en la fuente para coadyuvar con la reducción en la contaminación de los residuos aprovechables, alinear los incentivos del gobierno para inversiones en rellenos y las inversiones que se quieren hacer para desviar los residuos que se disponen en los rellenos, hacer una revisión de las tecnologías de punta con acompañamiento del MinAmbiente para validar su aplicabilidad en el contexto nacional, alinear la nueva normativa al marco tarifario para que el cumplimiento de las nuevas exigencias y la implementación de las nuevas tecnologías tengan cierres financieros. Se aclaró que para aprovechar el biogás o implementar proyectos WTE se requieren palancas financieras especialmente en inversión, dados sus altos costos, por lo que la operación en últimas debe subsidiarse con los ingresos del sistema que se implemente.

11 Requerimientos y Mecanismos de Financiación de la NAMA

11.1 Costos de la NAMA RSM

Para poder implementar las acciones de mitigación consignadas en la NAMA RSM, se debe incurrir en unos costos básicos que se describen en este capítulo.

Los costos están clasificados en dos grupos: El primer grupo lo constituyen los costos de los proyectos que se generan al implementar las acciones de mitigación planteadas, según el modelo de escenarios consignados en este documento, (Tabla 24). Son costos de mano de obra involucrada en cada tecnología a implementar, infraestructura, equipos, insumos y recursos, administrativos y de personal, y los costos correspondientes a los estudios, de pre y factibilidad, ingeniería, desarrollo y gestión ante autoridades correspondientes. Para lo cual se han utilizado valores de referencia de plantas instaladas y en operación bien sea nacional o internacionalmente, según la tecnología correspondiente.

El segundo grupo de costos hace referencia a todas las actividades de divulgación, coordinación y promoción de las acciones de la NAMA RSM con los diferentes actores del servicio público de Aseo, Municipios, operadores, e instituciones de vigilancia y control. Son básicamente costos administrativos, de personal, de eventos de capacitación y socialización. Se han llamado a estos costos de gobernanza de la NAMA RSM. Se utilizan referentes nacionales.

En la siguiente tabla podemos visualizar un resumen de los costos involucrados en cada una de las acciones de mitigación incluidas en el Modelo establecido para la NAMA RSM.

Tabla 38 Costos asociados a las diferentes estrategias de la NAMA RSM Colombia

Línea estratégica / Costos	RGV+Q	RGVQ+AE	OAEB	TMB+OBC	TM+BC	WtE	NAMA RSM GLOBAL
Costos Proyectos de mitigación							
Costos de Capital (infraestructura, equipos)	X	X	X	X	X	X	X
Otros costos Estudios previos, prefactibilidad, EIA, factibilidad, licencias, permisos.	X	X	X	X	X	X	X
Costos de gobernanza NAMA RSM							
Sensibilización, Capacitación, socialización, MRV medición, verificación reportes.	Global anual						

Fuente: Elaboración propia de la consultoría.

Costos de los proyectos de Mitigación

A continuación, desagregamos los costos correspondientes a implementar cada una de las acciones de mitigación establecidas en la NAMA RSM.

Costos de infraestructura, insumos y recursos

Se incluyen acá los costos de obra civil, maquinaria o equipo que son necesarios para implementar cada una de las acciones de mitigación de GEI propuestas en la NAMA RSM.

Estos costos constituyen los recursos que cada municipio debería presupuestar para lograr las metas de reducción de emisiones correspondientes. Son valores de referencia, ya que al momento de realizar los estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación otras serán las condiciones de costos financieros, tasa TRM, y de mercado laboral que influyen en los mismos.

Costos RGV+Q Recolección de gases de vertedero y quema

Con base en el documento “Proyectos de Aprovechamiento Energético a partir de Residuos Urbanos en México. Plantas de Producción de Energía en Hornos Cementeros, Biodigestores, Rellenos Sanitarios y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”, elaborado por el equipo técnico de EnRes en septiembre 2018, para la Secretaría de energía SENER, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SERMARNAT y la Cooperación Alemana GIZ, los costos de un sistema integral de captación, quema y aprovechamiento de biogás en un relleno sanitario se distribuyen así:

- Sistema de extracción de gases, 30.58% del valor integral del proyecto.
- Unidad de quema y cuarto de control, 14.47% del valor integral del proyecto
- Unidad de generación eléctrica, 54.95%. del valor integral del proyecto.

Esta distribución se hizo explícita en el relleno sanitario CIUDAD JUÁREZ CHIHUAHUA, el cual comenzó a operar en 1995, obtuvo registro como proyecto MDL en 2007 y para el 2015 recibía 1200 ton/día de residuos sólidos municipales. Para obtener 6,4 MW de potencia instalada gastó: 206 millones de pesos mexicanos, de los cuales el sistema de extracción de gases costó 63 millones \$Mx (30,58%), la estación de quema y cuarto de control 29.8 millones \$Mx (14.47%) y la planta de generación, incluido el sistema de tratamiento de gases y la infraestructura eléctrica de conexión a la red 113.2 millones \$Mx (54.95% del valor del proyecto).

En el mismo estudio se puede concluir que el valor del MW instalado oscila entre 1.51 Musd/MW, caso del relleno Ciudad Juárez Chihuahua y 4,17 Musd /MW para el relleno sanitario Puerto de Chivos estado de México En Atizapan de Zaragoza; teniendo como promedio para los 6 rellenos del estudio 2.52 Musd/MW instalado.

El valor de la tecnología se ha mantenido aproximadamente igual en los últimos años, pero las variables específicas de cada sitio tales como: la composición de los residuos, la tasa de generación de metano K, el contenido de metano en el biogás, la eficiencia de la captura de metano, entre otras hacen que el rango de variación del costo del MW instalado esté en un amplio rango, siendo común que para menores capacidades de generación es mucho mayor y va decreciendo rápidamente para mayores capacidades.

A nivel de referencia tomamos el precio promedio dólares/MW instalado 2'305.117, según MODELO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS PRODUCIDO EN RELLENOS SANITARIOS, trabajo de grado dirigido por el profesor LEONEL NÚÑEZ LAZO realizado por Alvaro López Arriaza Universidad de Chile en Santiago de Chile 2016, para realizar una aproximación

presupuestal de lo que valdría las instalaciones de los dos sitios propuestos en las acciones de mitigación de la NAMA RSM, con lo cual tendríamos:

Tabla 39 Costos promedio estimados implementación tecnología RGV+Q

Sitio de DF	Gg CH4 2030	MW instalados netos 2030 (1)	Costo USD /MW Netos (2)	Inversión 2030 Global USD	Costo Sistema extracción (30,58%) USD	Costo Estación de quema y cuarto control (14,47%) USD	Subtotal USD RGV+Q
Los Picachos	4,27	0,83	2.305.117	1.907.333	583.311	275.915	859.226
El Clavo	13,23	2,56		5.909.605	1.807.307	854.885	2.662.191
Total 2RS							3.521.417

(1) Se estima el costo del sistema de extracción en el 30.58% de la inversión total

(2) Se estima el costo de la unidad de quema y cuarto de control en un 14.47% de la inversión total

Fuente: Elaboración propia de la consultoría.

Finalmente, de acuerdo con el mismo estudio MODELO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS PRODUCIDO EN RELLENOS SANITARIOS, trabajo de grado dirigido por el profesor LEONEL NÚÑEZ LAZO realizado por Alvaro López Arriaza Universidad de Chile en Santiago de Chile 2016. se presenta en la siguiente tabla el valor unitario de los componentes del sistema de extracción y quema.

Los valores fueron obtenidos con la herramienta “LFGcost-Web – Landfil Gas Energy Cost Model”, herramienta provista por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), dichas estimaciones tienen una precisión del $\pm 30\%$. El valor expresado en pesos chilenos CLP, se convirtió a dólares americanos a razón de 0.0013 dólares por cada CLP.-tasa de nov 4 2020-

Tabla 40 Costos unitarios de referencia del sistema de extracción de biogás

Componentes	CLP (1)	USD	Unidad
Gestión y transporte de materiales	140.000.000	182.000	Global
Excavación	2.950.000	3.835	/pozo
Pozos de extracción vertical	200.000	260	/m
Trincheras horizontales	105.000	137	/m
Cabezales de pozo	500.000	650	/pozo
Ductos laterales	30.000	39	/m
Ductos intermedios o principales	75.000	98	/m
Sopladores 500 [m3/h] a 1.000 [m3/h]	30.000	39	/(m3/h)

Componentes	CLP (1)	USD	Unidad
Sopladores mayor a 5.000 [m3/h] (sopladores multi-etapa)	19.000	25	/(m3/h)
Trampas de condensado	6.000.000	7.800	/unidad
Cárcamos de condensado con bombeo	16.800.000	21.840	/unidad
Ingeniería y administración	500.000	650	/pozo
Antorchas de llama cerrada de 1000 m3/h (opcional)	135.000.000	175.500	/unidad
Antorchas de llama abierta de 30 a 1500 m3/h (opcional)	23.000.000	29.900	/unidad

(1) Un peso chileno equivale a 0,0013 USD americanos, 4 nov de 2020

Fuente: Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido

Costos RGVQ+AE Recolección de gases de vertedero con quema y aprovechamiento de biogás

Son 19 sitios de los 22 de la muestra que serán sometidos a esta tecnología de aprovechamiento energético del biogás captado, ver Tabla 29. Para ello se requiere realizar los estudios de ingeniería correspondientes e implementar la infraestructura que haga posible la limpieza del biogás para el uso en motores de combustión interna, los motogeneradores, la infraestructura eléctrica para poder interconectarse a la red e ir gradualmente migrando de la quema del biogás a su aprovechamiento.

Para costear esta infraestructura se han tenido en cuenta estudios y experiencias de entidades que han participado en la implementación de esta tecnología con resultados exitosos.

Según el estudio del Banco Interamericano de desarrollo BID, “Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico”. Marzo de 2017, Anexo A. En el análisis de caso del relleno San Javier II que parte de la generación actual de biogás en San Javier II, y de la proyección a partir de los RSU depositados en San Javier III y San Javier IV en la Ciudad de Salta, Argentina, que para el 2020 está recibiendo 170.000 ton de residuo (465,75 ton/día aproximadamente), y que tiene una capacidad instalada de 1,5 MW eléctricos excluyendo los costos de infraestructura de captación y quema del biogás, tiene las características técnicas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 41 Características de los escenarios San Javier, Salta Argentina

Características	Esc bajo	Esc medio	Esc alto
Vida útil años +1 año de instalación y puesta en marcha	20		
Tasa descuento	15		
Seguro de bienes de capital tasa /año en % de los bienes de capital	0,50%		
Ton/día RSM	451,05	465	478,95
Motogenerador kW	300	2X300	4x300+300
kW totales	300	600	1500
Gg CH4/año	1,8	4,2	6,5
Eficiencia captura CH4, S Javier II, III y IV	20;30;30%	30;50;50%	40;60;60%

Fuente: elaboración propia con datos documento Generación de electricidad a partir de biogás capturado de RSU. BID Marzo 2017

Los costos de inversión de la unidad completa de aprovechamiento energético son:

Tabla 42 Estimación de costos de producción de energía eléctrica San Javier, Salta Argentina

Costos Inversión USD	Unidad		Esc bajo	Esc medio	Esc alto
Motogenerador	USD/kW	700	210.000	330.000	648.000
Sistema Tratamiento Biogás (tanques de carbón activado)	USD/kW	127	38.000	60.000	88.000
Conexión a la Red eléctrica (Linea de 1,8Km + estación 380V a 13,2kV con potencia inicial de 300 kW, ampliable por la máxima capacidad a 500 kW)	USD/kW por km de línea	157	77.000	83.000	99.000
Mano de obra (% del monto inicial de la obra)	%	15	49.000	71.000	125.000
Ingeniería (% del monto inicial de la obra)	%	8	26.000	38.000	67.000
Total Inversión			400.000	582.000	1.027.000

Fuente: Elaboración propia con datos del documento Generación de electricidad a partir de biogás capturado de RSU. BID Marzo 2017

De los tres escenarios expuestos en esta tecnología, el que mayor se aproxima a las condiciones del promedio de rellenos de la NAMA RSM de Colombia es el escenario 3, por lo cual a partir del valor de esta inversión \$1'027.000 USD, y teniendo en cuenta la distribución aproximada de costos de estos proyectos, mencionada en el ítem anterior; el costo de la planta de generación, incluido el sistema de tratamiento de gases y la infraestructura eléctrica de conexión a la red constituye el 54,95% del valor del proyecto, tendremos que el valor del MW neto instalado es de USD 1'245.981. En consecuencia, los costos de inversión para el caso de los 19 rellenos colombianos se estima en los valores que se presentan en la siguiente tabla, con los datos predefinidos de generación de biogás

del año 2030. Se incluye acá los dos rellenos, Los Picachos y el Clavo, que en segunda fase se les haría aprovechamiento del Biogás y que en este momento no tienen una infraestructura de captación y quema cuyo costo fue estimado en el ítem Anterior.

Tabla 43 Estimación de costos de producción de energía eléctrica tecnología RGVQ+AE

Sitio de DF	Gg CH4 2030	MW netos 2030	Costo USD /MW Netos	Inversión 2030 Global USD	Costo Planta generación + tratamiento de biogás + infraestructura eléctrica (54,95%) USD (1)	Costo O&Mto, incluye amortización (68,16% del costo de la planta) (2)
Pradera	67,86	13,15	1.245.981,00	16.384.415	9.003.475	6.136.768
Colomba El Guabal de Yotocó	43,36	8,40		10.469.028	5.752.883	3.921.165
Nuevo Mondoñedo	28,31	5,49		6.835.290	3.756.092	2.560.152
Sitio de disposición final El Carrasco	13,14	2,55		3.172.579	1.743.378	1.188.287
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	15,33	2,97		3.701.342	2.033.942	1.386.335
Regional Presidente	14,37	2,78		3.469.556	1.906.571	1.299.519
La Glorita	16,39	3,18		3.957.273	2.174.579	1.482.193
Loma Grande	12,52	2,43		3.022.884	1.661.119	1.132.218
Parque Ecológico Reciclante	12,72	2,46		3.071.172	1.687.654	1.150.305
Parque Ambiental Palangana	8,21	1,59		1.982.258	1.089.280	742.453
Los Corazones	8,58	1,66		2.071.593	1.138.370	775.913
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	9,71	1,88		2.344.425	1.288.296	878.102
El Oasis	6,64	1,29		1.603.191	880.977	600.474
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	6,97	1,35		1.682.867	924.760	630.316
Parque Ambiental Pirgua	6,15	1,19		1.484.883	815.965	556.162
La Esmeralda	10,49	2,03		2.532.752	1.391.784	948.640

Parque Ambiental Andalucía	6,68	1,29		1.612.848	886.284	604.091
Los Picachos	4,27	0,83	2.305.116,94	1.907.333	1.048.107	714.390
El Clavo	13,23	2,56		5.909.605	3.247.414	2.213.438
TOTAL 19 R.S	304,93	59,09		77.215.296	42.430.930	28.920.922

(1) Se estima el costo de la Planta generación, más el tratamiento de biogás, más la infraestructura eléctrica un 54,95% de la inversión global

(2) Se estiman los costos de operación y mantenimiento, incluida la amortización un 68.16% del valor de la unidad de aprovechamiento dado en la nota (1)

Fuente: Elaboración propia

Además de la estimación de costos de inversión, en la última columna se presenta el estimado, de los costos de operación y mantenimiento, que corresponde aproximadamente a 68.16% del valor de la planta de generación + tratamiento de biogás y la infraestructura eléctrica.

Costos OAEB Optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente

Los costos de esta acción de mitigación tienen 2 componentes principales. El primero relacionado con el estudio de optimización propiamente dicho con su viabilidad financiera y el segundo relativo a la implementación de la solución propuesta.

Para determinar el primero, nos hemos basado en estudios de factibilidad similares, hallados en la herramienta SECOP II, en particular los procesos: CMA-01-2020 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO Y VALORIZACION DE RESIDUOS MEDIANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO Y/O SIMILARES CON GENERACIÓN DE ENERGIA Y/O SUB PRODUCTOS INCLUYENDO SU ANALISIS COSTO BENEFICIO Y EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA y CMA-03-2020 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA DEL DISTRITO CAPITAL, MEDIANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO Y/O SIMILARES CON GENERACIÓN DE ENERGIA Y/O SUB PRODUCTOS INCLUYENDO SU ANALISIS COSTO BENEFICIO Y EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA, en el mercado laboral colombiano y hemos tomado algunas referencias de Total Rewards 2017 Estudio salarial y de tendencias de gestión humana, Human (Capital, 2017). EL resumen de los costos de los estudios de optimización se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 44 Costos OAEB Estudios de optimización energética del biogás captado en el relleno

	Valor \$COP	Valor USD (1)
Personal asesor Optimización OTMB	112.430.632	29.060
Estudios y ensayos	283.744.571	73.341
Elementos de Seguridad	8.234.800	2.128
Costos oficina	28.050.382,50	7.250
Total	432.460.386	111.780

(1) TRM de 3868,85 3 de noviembre 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al segundo componente, los costos de implementación, dado que son equivalentes a los costos hallados para la acción de mitigación costada en el numeral 10.1.2.2 recolección de gases de vertedero con quema y aprovechamiento de biogás, se calcula para los MW instalados adicionales a los que se generan en cada sitio antes de la optimización.

El único relleno sanitario que está registrado, según la información de la línea base como generador a partir de biogás captado es el relleno sanitario Doña Juana con 1.7 MW y su potencial estimado es generar 19.89 MW, por lo cual la optimización pretende lograr una capacidad instalada adicional de 18.19 MW.

Los otros dos rellenos involucrados en esta acción de mitigación de GEI son: Los Pocitos y Loma de Los Cocos, los cuales según información de la línea base, no se encuentran activos en su proceso de generación, por lo que se ha tomado el proceso de optimización desde cero al potencial máximo de cada uno de ellos, como se indica en la siguiente tabla, que además presenta el costo total de la acción objeto de análisis.

Tabla 45 Costos OAEB Optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente 2030

Sitio de DF	Gg CH4 2030	MW netos 2030	Costo USD /MW Netos	Inversión 2030 Global USD	Costo Fase de optimización USD	Costo total USD
Doña Juana (1)	111,37	19,88	1.245.981,20	24.771.497	111.780	24.883.277
Parque Ambiental Los Pocitos	23,31	4,52		5.628.069	111.780	5.739.849
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	29,60	5,74		7.146.755	111.780	7.258.535
Total 3 rellenos a optimizar	164,28	30,13		37.546.321	335.340	37.881.661

(1) A la máxima capacidad de captación y generación de CH4 del relleno, para Doña Juana se descuenta el valor de MW que actualmente tiene, 1.8 MW

Fuente: Elaboración propia

TM+OBC Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje

Al igual que en el caso anterior, esta acción se trata de un estudio de optimización de un proceso ya existente, en este caso en el relleno sanitario El Reciclante. Por lo tanto, los costos también tienen dos componentes, el de los estudios de optimización y factibilidad y el de la implementación.

Las referencias para su determinación son las mismas: estudios de factibilidad hallados en la herramienta SECOP II, básicamente los procesos CMA-01-2020 y CMA-03-2020 abiertos por la UESP y la Secretaria del Habitat de Bogotá en noviembre 2020; el mercado laboral nacional, y referencias específicas de Total Rewards 2017 Estudio salarial y de tendencias de gestión humana, Human (Capital, 2017).

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 46 Costos TM+OBC Fase Optimización proceso biológico de compostaje

	Valor \$COP	Valor USD (1)
Personal asesor Optimización OTMB	92.402.503	23.884
Estudios y ensayos	283.744.571	73.341
Elementos de Seguridad	10.948.000	2.830
Costos oficina	28.050.382,50	7.250
Total	415.145.457	107.305

(1) TRM de 3868,85 3 de noviembre 2020

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de implementar esta optimización son equivalentes a los costos estimados en el siguiente numeral para el tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico de compostaje, por lo que se hará uso del mismo sistema de cálculo. Es importante precisar que, de acuerdo con información de la línea base, el proceso biológico que se adelanta parte de la recolección separada de diferentes residuos, además de los de poda y césped, lodos provenientes de residuos de materiales de petroleras, restaurantes, residuos de estiércol y pozos sépticos que se procesan y producen 3 ton/día de compost, utilizado internamente. Como el proceso aún no está certificado y sólo trata el 0.5% de los residuos que ingresan al relleno, la optimización se asume desde cero y en primera etapa se pretende llegar a procesar el 2% de los residuos que ingresan al relleno sanitario, es decir 20 ton/día (7577 ton/año), con un costo que, corresponde a una infraestructura estimada en \$USD408142. Con estos preceptos, los resultados se presentan a continuación.

Tabla 47 Costo TM+OBC Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje 2030

Sitio de DF	RSM ton/año 2030	Residuo vegetal 2% RSM ton/año 2030	Costo Capital	Costo Fase de optimización USD	Costo total USD
Parque Ecológico Reciclante	378.847	7.577	408.142	107.305	515.447

Fuente Elaboración propia

TM+BC Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje

Como se describió en el capítulo 8 ítem 8.1.1, esta tecnología se focaliza en el residuo biodegradable de origen vegetal y para ello, de acuerdo con la directriz nacional de promover la separación en la fuente de este residuo, se plantea la acción con ruta separada para la recolección de los residuos objeto del aprovechamiento.

La estimación de costos se realiza para una planta tipo que recibe los residuos ya separados y que se facilitaría su instalación en los predios del sitio de disposición final, por fuera de los polígonos licenciados para disposición de los residuos. Sin limitar la posibilidad de instalarla en otra ubicación, si el municipio y las condiciones específicas de algún sitio así lo determinan.

Estudios del Banco Mundial establecen un costo por tonelada tratada mediante Compostaje en los siguientes rangos: 3 a 5 USD/ton para países de bajo ingreso; 10 a 40 USD/ton para países de ingreso medio-bajo; 20 a 75 USD/ton para países de ingreso medio-alto y 35 a 90 USD/ton para países de elevados ingresos. Datos 2010 actualizados a 2015. Según Ordif observatorio de los residuos de Ilé Francia. 2015, el valor es de 160 Euros/ton. La diferencia estriba, en la capacidad y calidad de la maquinaria a implementar y en los costos de obra civil, consumos de energía y combustible que hacen más costoso el proceso en los países de mayor desarrollo.

Se construyeron tres alternativas, a partir de datos recogidos en diferentes estudios, para la alternativa alta A, en el “ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE 2016” realizado mediante el proyecto Agrowaste por el CSIC Consejo Superior de Investigación Científica de España, y con el respaldo del programa para el medio ambiente y el clima Life de la Unión Europea, y la agrupación de empresas de alimentación de Murcia, Alicante y Albacete Agrupal. El estudio viabilizó una Planta de compostaje para la región de Murcia de 33000 ton/año (90.41 ton/día) para producir 11781 ton/año de compost. El estudio original determinó un costo de capital de 144.89 usd/ton de residuos aprovechados. Realizando la adaptación a nuestro medio y modificando alguna maquinaria: volteadora, scrubber y biofiltro, trituradora, la instalación eléctrica, suprimiendo otra como: tolvas, tornillo extractor, tornillo elevador, tornillo dosificador, mezcladora, que podemos reemplazar cambiando el proceso de transporte entre naves de la planta y actualizando los costos de energía y combustibles, obtuvimos finalmente un costo de 50.88 USD /ton, que es el valor de referencia para la alternativa A proyectarla a los rellenos que tengan una capacidad mayor a 50 ton RSMO –residuo sólido municipal orgánico-/día, que de acuerdo con la información obtenida y proyectada para el año 2030, son los rellenos: Doña Juana, Pradera, Colomba El Guabal de Yotocó y Nuevo Mondoñedo.

Los datos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 48 Costos de Obra civil TM+BC Alternativa A (plantas >50 ton RSU/día)

CONCEPTO	UNIDADES	MEDICIÓN	Unidad USD/m ²	Costo total USD
NAVE ESTRUCTURANTE (Estructura y cubierta, cerramiento, solera y obra civil interior)	m ²	2500	77,54	193.856,06
NAVE FERMENTACIÓN (Estructura y cubierta, cerramiento, solera y obra civil interior)	m ²	5350	77,54	414.851,96
NAVE MADURACIÓN (Estructura y cubierta, solera)	m ²	3600	68,93	248.135,74
NAVE ALMACENAMIENTO (Estructura y cubierta, cerramiento, solera y obra civil interior)	m ²	2500	77,54	193.856,06
SALA CONTROL	m ²	40	129,24	5.169,49
LABORATORIO	m ²	50	129,24	6.461,87
AULA AMBIENTAL	m ²	40	129,24	5.169,49
TALLER	m ²	80	129,24	10.338,99
URBANIZMO	Global	-		20.499,72
TOTAL OBRA CIVIL:				1.098.339,38

(1) 1,16 usd por euro, y \$3868,85 COP /usd se utilizó como tasa de cambio. Datos 3 nov 2020

Fte: Elaboración propia con base en Estudio Viabilidad de una planta de compostaje. Proyecto Agrowaste. Murcia 2016

Tabla 49 Costos de Equipo TM+BC Alternativa A (plantas >50 ton RSU/día)

	Unidad	Medición	Precio Unidad USD	Costo total USD (1)
Báscula	Ud	1	24.592	24.592
Trituradora	Ud	2	34.800	69.600
Circuito de ventilación	Ud	1	20.184	20.184
Scrubber + biofiltro	Ud	1	34.800	34.800
Volteadora	Ud	1	108.500	108.500
Circuito neumático	Ud	1	18.908	18.908
Circuito hidráulico	Ud	1	21.692	21.692
Instalación eléctrica	Ud	1	109.040	54.520
Sensores control	Ud	8	2.900	23.200
Sistema centralizado control	Ud	1	40.600	40.600
Tromel	Ud	1	85.318	85.318
Pala Cargadora (Bobcat)	Ud	1	69.600	69.600
Ensacadora	Ud	1	9.048	9.048
Total equipos				580.562

(1) 1,16 USD por euro. Datos 3 nov 2020

Fuente: Elaboración propia con base en Estudio Viabilidad de una planta de compostaje. Proyecto Agrowaste. Murcia 2016

El total de los costos de capital, obra civil más equipos es igual a: 1.678.901,38 USD y dado que la planta tiene una capacidad de 33000 ton de Residuos/año [90.41 ton/día], entonces los costos de capital/ton de RSM procesado al año están dentro del rango de 50,88 \$USD/ton RSM a 88.39 \$USD/ton.

Respecto a los costos de mantenimiento, los resultados se consignan en la siguiente tabla:

Tabla 50 Resumen Costos Operación y Mantenimiento TM+BC. Alternativa A (plantas >50 ton RSU/día)

	USD/año
Costos de personal	67.161
Mto y reparaciones	319.492
Costos administración y laboratorio	14.604
Costos Energía	47.773
Costos Combustible	3.550
Coste insumos material estructurante	111.360
Total	563.942

(1) 1,16 USD por euro, y \$3868,85 COP /USD se utilizó como tasa de cambio. Datos 3 nov 2020

Fuente: Elaboración propia con base en Estudio Viabilidad de una planta de compostaje. Proyecto Agrowaste. Murcia 2016

Se concluye que los costos de operación y mantenimiento (563.942 USD) son el 34% de los costos de capital (1.678.901,38 USD).

La alternativa descrita anteriormente se adoptó para las plantas que procesan más de 50 Ton/día de residuo.

De igual forma se procedió para las alternativas s B1 (plantas entre 20 y 50 ton/día) y B2 (plantas menores a 20 ton/día), basados en la tesis para optar el grado de ingenieros Industriales “PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES Universidad Javeriana 2004” presentada por José Pablo Uribe López, Andrés Vanegas Barrera y Francisco Alejandro Cardona González. El resultado del estudio fue: Costo total de capital 763.783 usd para una planta de 41.975 ton/año [115 ton/día] de residuos. Lo que arrojó un resultado de 18.19 USD/ton RSM.

Se adoptó un menor terreno y una menor inversión tanto en obra civil como en equipos, dado la menor capacidad de las plantas y se actualizaron algunos precios. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 51 Costos de obra civil TM+BC Alternativa B1 (Plantas entre 20 y 50 ton RSU/día)

	Cantidad	Valor Unitario COP	Valor total COP	Valor total USD (1)
Terreno	1	400.000.000	400.000.000	103.390
Edificios	1	531.152.967	531.152.967	137.290
Total Obra civil			931.152.967	240.680

Nota: (1) TRM 3868,85 nov 3 2020

Fuente: Elaboración propia con base en la Tesis de grado “PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES Universidad Javeriana 2004” presentada por José Pablo Uribe López, Andrés Vanegas Barrera y Francisco Alejandro Cardona González

Tabla 52 Costo de Maquinaria y equipo TM+BCA alternativa B1 (Plantas entre 20 y 50 ton RSU/día)

	Cantidad	Valor Unitario COP	Valor total COP	Valor total USD (1)
Trituradora	2	22.000.000	44.000.000	11.373
Bomba de riego	1	420.000	420.000	109
Empacadora	1	9.500.000	9.500.000	2.456
Extractor de aire	7	1.500.000	10.500.000	2.714
Bandas transportadoras	4	20.880.000	83.520.000	21.588
Elevadores de Canjilones	3	4.060.000	12.180.000	3.148
Tolvas de recepción Corabastos	3	41.500.000	124.500.000	32.180
Tolvas de empaque	1	45.300.000	45.300.000	11.709
Tolvas de recepción -otras-	3	2.100.000	6.300.000	1.628
Equipos de seguridad industrial	50	415.280	20.764.000	5.367
Sillas de segregación	40	350	14.000	4
Carretillas	8	110.000	880.000	227
Lonas protectora	16	60.000	960.000	248
Estibas	528	24.940	13.168.320	3.404
Canecas 55 gal	40	54.175	2.167.000	560
Tubería	704	6.309	4.441.536	1.148
Pala Cargadora (Bobcat)	1	269.271.960	269.271.960	69.600
Total Equipos			647.886.816	167.462

(1) TRM 3868,85 nov 3 2020

Fuente: Elaboración propia con base en la Tesis de grado “PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES

UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES Universidad Javeriana 2004” presentada por José Pablo Uribe López, Andrés Vanegas Barrera y Francisco Alejandro Cardona González

El total de los costos de capital, obra civil más equipos, alternativa B1 es igual a: 408.142 \$USD y según la capacidad de la planta el rango del costo de capital está entre 22 y 55 \$USD/ton.

Para la alternativa B2 de las plantas menores a 20 ton/día se determinó:

Tabla 53 Costos de Obra civil TM+BC Alternativa B2 (Plantas menores a 20 ton RSU/día)

	Cantidad	Valor Unitario COP	Valor total COP	Valor total USD (1)
Terreno	1	200.000.000	200.000.000	51.695
Edificios	1	265.576.484	265.576.484	68.645
Total Obra civil			465.576.484	120.340

(1) TRM 3868,85 nov 3 2020

Fuente: Elaboración propia con base en la Tesis de grado “PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES Universidad Javeriana 2004” presentada por José Pablo Uribe López, Andrés Vanegas Barrera y Francisco Alejandro Cardona González

Tabla 54 Costo de Maquinaria y equipo TM+BC Alternativa B2 (Plantas menores a 20 ton RSU/día)

	Cantidad	Valor Unitario COP	Valor total COP	Valor total USD (1)
Trituradora	2	22.000.000	44.000.000	11.373
Bomba de riego	1	420.000	420.000	109
Empacadora	1	9.500.000	9.500.000	2.456
Extractor de aire	2	1.500.000	3.000.000	775
Tolvas de recepción -otras-	3	2.100.000	6.300.000	1.628
Equipos de seguridad industrial	50	415.280	20.764.000	5.367
Sillas de segregación	40	350	14.000	4
Carretillas	8	110.000	880.000	227
Lonas protectora	16	60.000	960.000	248
Estibas	528	24.940	13.168.320	3.404
Canecas 55 gal	40	54.175	2.167.000	560
Tubería	704	6.309	4.441.536	1.148

Pala Cargadora (Bobcat)	1	269.271.960	269.271.960	69.600
Total Equipos			374.886.816	96.899

(1) TRM 3868,85 nov 3 2020

Fuente: Elaboración propia con base en la Tesis de grado "PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST: VIABILIDAD PARA TRES UBICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y SUS ALREDEDORES Universidad Javeriana 2004" presentada por José Pablo Uribe López, Andrés Vanegas Barrera y Francisco Alejandro Cardona González

El total de los costos de capital, obra civil más equipos, alternativa B2 (plantas menores a 20 ton/día) es igual a: 217.239 \$USD y según la capacidad de la planta el rango del costo de capital está entre 29 y 85 \$USD/ton.

Finalmente, dado que el porcentaje de residuos producto de poda de césped y corte de árboles, jardinería y algunas plazas de mercado, se encuentra alrededor del 2 % del total de residuos que ingresa a los rellenos sanitarios, hemos realizado el cálculo con este valor de residuos, obteniendo el costo estimado que se muestra a continuación, teniendo en cuenta los tres escenarios descritos anteriormente. También incluimos en la tabla los costos de operación y mantenimiento, estimados como un 34% de los costos de capital.

Tabla 55 Costos Capital Proyectos TM+ BC Compostaje 2030

Sitio de DF	RSM ton/día 2030	RSM ton/año 2030	2% Corte césped y poda SM ton /día 2030 (1)	2% Corte césped y poda SM ton /año 2030	Costo Capital USD/ton RSM anual. Infraestructura \$USD1678901 para RS >50 ton/día; \$USD 408142 para RS entre 20 y 50 Ton/día, y \$ USD 217239 para RS < a 20 Ton/día	Costo/ton RSUO/año	34% Costos de O&Mto (34% de los de capital) ESC Infraestructura
Dofia Juana	6.925	2.527.661	139	50.553	2.572.148	50,88	874.530
Pradera	4.830	1.762.973	97	35.259	1.794.001	50,88	609.960
Colomba El Guabal de Yotocó	3.726	1.360.118	75	27.202	1.678.901	61,72	570.826
Parque Ambiental Los Pocitos	1.832	668.593	37	13.372	668.593	50	227.322
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	2.121	774.145	42	15.483	774.145	50	263.209
Nuevo Mondoñedo	2.602	949.732	52	18.995	1.678.901	88,39	570.826
Sitio de disposición final El Carrasco	906	330.642	18	6.613	217.239	32,85	73.861
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	1.480	540.336	30	10.807	540.336	50	183.714
Regional Presidente	985	359.674	20	7.193	408.142	56,74	138.768
La Glorita	1.246	454.897	25	9.098	454.897	50	154.665
Loma Grande	819	298.895	16	5.978	217.239	36,34	73.861
Parque Ambiental Palangana	835	304.847	17	6.097	217.239	35,63	73.861
Los Corazones	851	310.509	17	6.210	217.239	34,98	73.861
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	774	282.331	15	5.647	217.239	38,47	73.861
El Oasis	519	189.434	10	3.789	217.239	57,34	73.861
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	489	178.378	10	3.568	217.239	60,89	73.861
Parque Ambiental Pírgua	372	135.766	7	2.715	217.239	80	73.861
La Esmeralda	755	275.525	15	5.510	217.239	39,42	73.861
Parque Ambiental Andalucía	538	196.510	11	3.930	217.239	55,27	73.861
Los Picachos	616	224.984	12	4.500	217.239	48,28	73.861
El Clavo	2.020	737.147	40	14.743	737.147	50	250.630
Total 21 Proyectos TM+BC Compostaje	35.241	12.863.097	705	257.262	13.696.841		4.656.926

(1) Residuos de corte de césped y poda de árbol inicialmente, con residuos vegetal de plazas de mercado

Fuente: elaboración propia

WtE Tratamiento térmico Waste to Energy o termovalorización eléctrica.

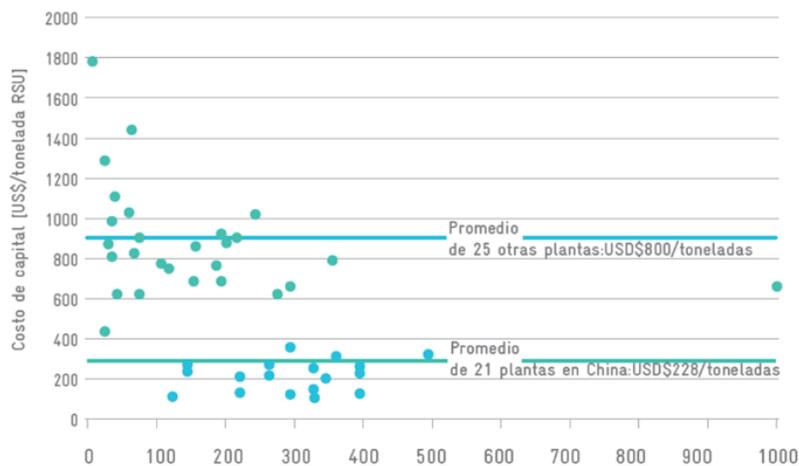
La tecnología WtE es la que ha logrado una mayor implementación en el mundo en el tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos municipales. Utilizamos acá información relativa a los costos tanto de capital como de operación, característicos de instalaciones de incineración operando en diversos países, con las tecnologías internas más comunes en el mercado, como es el caso de las parrillas inclinadas usadas como lecho en las calderas de procesamiento.

Los costos de capital son función de los siguientes factores: adecuación del sitio, obra civil, chimenea, horno de parrillas, caldera y turbina de vapor, sistemas eléctricos y mecánicos, sistemas de enfriamiento del circuito interno de vapor, generador de energía y subestación eléctrica, equipo de control de emisiones a la atmósfera, predios y contingencias, entre otros.

Por su parte los costos de operación incluyen: consumo de agua, algunos combustibles, electricidad, insumos químicos como el carbón activado para la depuración de gases, sistema de eliminación de cenizas, sueldos y salarios del personal técnico y administrativo, servicios de limpieza y mantenimiento, entre otros.

Con base, entre otros, en el documento “Plantas de incineración de residuos sólidos urbanos” presentado por el Programa EnRes a las Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, y de Energía SENER de México, elaborado con apoyo de la cooperación alemana GIZ, sobre información específica de la tecnología de incineración o WtE con respecto a los costos de capital y operación se obtienen los datos principales para realizar un estimado de costos de la implementación de los proyectos WtE, como acción de mitigación dentro de los objetivos de la NAMA RSM de Colombia.

Figura 16 Costo de Capital por tonelada anual de residuos municipales instalada.



Fuente: Adaptado de Nickolas J. Themelis, WTERT (2015). “A look into the future of the global WtE industry”.

Como se puede observar en el gráfico del Anexo 10, se destacan dos promedios para la estimación de los costos de capital, 800 USD/ton RSM, para el caso de países desarrollados y 228 USD/ton RSM para China y países emergentes. En nuestra estimación consideramos tres opciones, la opción alta ‘A’, con 800 USD/ton, la opción baja ‘B’ con 228 USD/ton y la opción intermedia “1/2” con el valor promedio matemático entre los dos anteriores de 514 USD/ton.

Es importante precisar que la gran diferencia de costos se debe a que en los países desarrollados son más exigentes en cuanto a normas ambientales y de seguridad, en garantizar la ininterrupción del servicio de termovalorización, es así que implementan plantas con doble caldera, mientras que, en los países emergentes, por ahorro de costos, se han implementado plantas con una sola caldera.

Estos costos, estadísticamente se han distribuido como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 56 Distribución de los costos de capital de una planta de incineración según sus componentes

Componente	%
Sistema de incineración y caldera	40%
Equipo de producción de energía	10%
Tratamiento de los gases de combustión	15%
Obra civil	25%
Otros: permisos, ingeniería, conexión a red eléctrica...	10%
Total	100%

FUENTE: En Adaptado de Stantec (2011). "Waste to Energy - A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices

Las opciones enunciadas anteriormente, dan como resultado:

Tabla 57 Costos Estimados de Capital Proyectos WtE 2030

Sitio de DF	RSM ton/día 2030	RSM ton/año 2030	Opción A	Opción 1/2	Opción B
			Costo Capital con 800 USD/ton RSM	Costo Capital con 514 USD/ton RSM	Costo Capital con 228 USD/ton RSM
Doña Juana	6.925	2.527.661	2.022.129.156	1.299.217.983	576.306.810
Pradera	4.830	1.762.973	1.410.378.232	906.168.014	401.957.796
Colomba El Guabal de Yotocó	3.726	1.360.118	1.088.094.614	699.100.790	310.106.965
Parque Ambiental Los Pocitos	1.832	668.593	534.874.162	343.656.649	152.439.136
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	2.121	774.145	619.316.302	397.910.724	176.505.146

Nuevo Mondófedo	2.602	949.732	759.785.250	488.162.023	216.538.796
Sitio de disposición final El Carrasco	906	330.642	264.513.494	169.949.920	75.386.346
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	1.480	540.336	432.268.547	277.732.541	123.196.536
Regional Presidente	985	359.674	287.739.460	184.872.603	82.005.746
La Glorita	1.246	454.897	363.917.253	233.816.835	103.716.417
Loma Grande	819	298.895	239.115.877	153.631.951	68.148.025
Parque Ecológico Reciclante	1.038	378.847	303.077.990	194.727.609	86.377.227
Parque Ambiental Palangana	835	304.847	243.877.941	156.691.577	69.505.213
Los Corazones	851	310.509	248.407.595	159.601.880	70.796.165
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	774	282.331	225.864.419	145.117.889	64.371.359
La Esmeralda	755	275.525	220.419.727	141.619.675	62.819.622
El Clavo	2.020	737.147	589.717.667	378.893.601	168.069.535
Total 17 proyectos WtE	33.745	12.316.872	9.853.497.687	6.330.872.264	2.808.246.841

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los costos operativos, su distribución, de acuerdo con la misma fuente, está en, los rangos mostrados en la siguiente tabla. Hemos trabajado con los datos que aparecen en la última columna.

Tabla 58 Distribución de los costos de O&M en plantas WtE

Componente de la planta de incineración	Porcentaje del costo de operación [%]	Porcentaje del costo de operación [%]
Sueldos y salarios, administración	25 - 30	25%
Mantenimiento	35 - 40	35%
Servicios (energía, comunicación, combustibles...) y suministros	20	20%
Manejo y disposición de residuos de proceso	20	20%
Total		100%

FUENTE: adaptado de Stantec (2011). "Waste to Energy - A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices".

Los costos de operación y mantenimiento tienen también una gran variación, de acuerdo con las condicionales propias de cada sitio de implementación, a mayor capacidad menor costo de capital unitario. También influye el tipo de construcción, el diseño arquitectónico de la planta, las características del suelo donde se ubica y las particularidades salariales de cada país, entre muchos otros factores; según el documento del Programa EnRes para México citado arriba, puede oscilar entre 20 y 200 USD/ton RSM. De ahí que se haya construido 3 opciones, de forma similar que, con los costos de capital, una opción alta A con 200 USD/ton RSM, una opción baja B para 20 USD/ton y finalmente una opción intermedia '1/2' con el promedio aritmético de los dos anteriores, es decir, 110 USD/ton RSM.

Los 17 proyectos para WtE de la NAMA RSM de Colombia, arrojan como estimado de costos de operación y mantenimiento los valores consignados en la siguiente tabla.

Tabla 59 Costos estimados Operación y mantenimiento Proyectos WtE

Sitio de DF	RSM ton/día 2030	RSM ton/año 2030	Opción A	Opción 1/2	Opción B
			Costo de O&M con 200 USD/ton	Costo de O&M con 110 USD/ton	Costo de O&M con 20 USD/ton
Doña Juana	6.925	2.527.661	505.532.289	278.042.759	50.553.229
Pradera	4.830	1.762.973	352.594.558	193.927.007	35.259.456
Colomba El Guabal de Yotocó	3.726	1.360.118	272.023.654	149.613.009	27.202.365
Parque Ambiental Los Pocitos	1.832	668.593	133.718.541	73.545.197	13.371.854
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	2.121	774.145	154.829.076	85.155.992	15.482.908

Sitio de DF	RSM ton/día 2030	RSM ton/año 2030	Opción A	Opción 1/2	Opción B
			Costo de O&M con 200 USD/ton	Costo de O&M con 110 USD/ton	Costo de O&M con 20 USD/ton
Nuevo Mondoñedo	2.602	949.732	189.946.313	104.470.472	18.994.631
Sitio de disposición final El Carrasco	906	330.642	66.128.373	36.370.605	6.612.837
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	1.480	540.336	108.067.137	59.436.925	10.806.714
Regional Presidente	985	359.674	71.934.865	39.564.176	7.193.486
La Glorita	1.246	454.897	90.979.313	50.038.622	9.097.931
Loma Grande	819	298.895	59.778.969	32.878.433	5.977.897
Parque Ecológico Reciclante	1.038	378.847	75.769.498	41.673.224	7.576.950
Parque Ambiental Palangana	835	304.847	60.969.485	33.533.217	6.096.949
Los Corazones	851	310.509	62.101.899	34.156.044	6.210.190
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	774	282.331	56.466.105	31.056.358	5.646.610
La Esmeralda	755	275.525	55.104.932	30.307.713	5.510.493
El Clavo	2.020	737.147	147.429.417	81.086.179	14.742.942
Total 17 proyectos WtE	33.745	12.316.872	2.463.374.422	1.354.855.932	246.337.442

Fuente: Elaboración propia

Otros costos

Para lograr la reducción de GEI planteados en la NAMA RSM, se requiere evaluar cada una de las actividades y proyectos establecidos en La NAMA y por lo tanto es necesario realizar un conjunto de estudios, de caracterización actualizada de los residuos y del biogás generado en los diferentes rellenos, estudios de prefactibilidad y/o consultoría, factibilidad e implementación, estudios de impacto ambiental (EIA) y gestionar las licencias de construcción y ambientales requeridas para la implementación de los proyectos respectivos.

Los valores acá consignados, son de referencia y pueden variar de acuerdo con la situación particular de cada proyecto.

Tabla 60 Otros costos

	Caracterización RSM	Caracterización Biogás	Estudios de prefactibilidad	Estudios Factibilidad
RGV+Q		X		
RGVQ+AE		X	X	X
OAEB		X		
TM+OBC	X			
TM+BC	X (1)		X	X
WtE	X		X	X

(1) Caracterización de los residuos de poda de árbol, corte de césped, jardinería y plazas de mercado de origen vegetal.

Fuente: Elaboración Propia

Se han tomado como referencias procesos similares actualmente vigentes en el Sistema Electrónico de Contratación Pública SECOP II, en particular:

- Para los estudios de pre y factibilidad, El concurso de méritos abierto N° UAESP-CMA-01-2020 “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO Y VALORIZACION DE RESIDUOS MEDIANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO Y/O SIMILARES CON GENERACIÓN DE ENERGIA Y/O SUB PRODUCTOS INCLUYENDO SU ANALISIS COSTO BENEFICIO Y EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA”. Valor: \$ COP 1.055.519.783.
- El concurso de méritos abierto N° UAESP-CMA-03-2020. “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA DEL DISTRITO CAPITAL, MEDIANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO Y/O SIMILARES CON GENERACIÓN DE ENERGIA Y/O SUB PRODUCTOS INCLUYENDO SU ANALISIS COSTO BENEFICIO Y EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA.” Valor \$1.055.519.487,00
- Para la caracterización de residuos y por equivalencia la caracterización de de Biogás captado en los rellenos, la Caracterización de residuos, en el proceso N° UAESP-CMA-01-2020 mencionado arriba: Valor \$160.440.816,00

Se precisa que los costos mencionados para los estudios de caracterización de residuos y/o Biogás irán incluidos en los costos de Prefactibilidad y/o factibilidad como se muestra en la Tabla 61. Estimación otros costos.

Tabla 61 Estimación Otros Costos. Estudios, licencias, permisos, EIA

Acciones de mitigación	Nº Sitios	Unidades (nº estudios)	Costo USD /unidad Prefactibilidad y Factibilidad	Total \$USD
RGV+Q	2	2	111.780	223.560
(RGV+Q)+AE	19	19	111.780	2.123.822
OAEB	3	0	111.780	0
TM+OBC	1	0	107.305	0
TM+BC	21	21	107.305	2.253.397
WtE	17	17	211.885	3.602.037
Total Otros costos			761.834	8.202.816

Se consideró TRM \$3868,85Cop /USD. Fuente: Elaboración propia

NAMA RSM Global

Como se apreció en los numerales anteriores, existe un amplio rango de valores de acuerdo a diferentes opciones de selección de plantas a implementar. En resumen, se presentan dos casos para el proceso de TM+BC (21 sitios) compostaje con separación en fuente, compartidos con el proceso TM+OBC (1 sitio) optimización de proceso biológico de compostaje; uno para una planta con inversión de 50.88 usd/ton de RSM y otra con 13.95 usd/ton RSM a tratar anualmente.

Además, se presentan tres ambientes para los 17 sitios con tecnología WtE, plantas de 800, 514 y 228 USD / ton RSM tratada anualmente. Los estudios de factibilidad deben precisar un cada caso el valor definitivo.

Los costos de implementar la NAMA RSM de Colombia, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 62 Rango de Costos de implementación NAMA RSM Colombia 2030

Acciones de mitigación	Nº proyectos	Otros Costos (Estudios pre y factibilidad, permisos y licencias)	USD	Costo con Infraestructura \$USD1'678.901 para RSUO >50 ton/día; \$USD 408.142 para RSUO entre 20 y 50 Ton/día, y \$ USD 217.239 para RSUO < a 20 Ton/día	Opción A con 800 USD/ton	Opción 1/2 con 514 USD/ton	Opción B con 228 USD/ton
RGV+Q	2	223.560	3.521.417				
(RGV+Q)+AE	19	2.123.822	42.430.930				
OAEB	3	0	37.881.661				
TM+OBC	1	0		515.447			
TM+BC	21	2.253.397		13.696.841			
WtE	17	3.602.037			9.853.497.687	6.330.872.264	2.808.246.841
Subtotal	63	8.202.816	83.834.007	14.212.287	9.853.497.687	6.330.872.264	2.808.246.841

Fuente: elaboración propia

Se concluye de la observación de los resultados, y de las posibles combinaciones de opciones los siguientes niveles probables de inversión:

- Inversión Máxima 9.959.746.797 USD
- Inversión 1/2 6.437.121.374 USD
- Inversión Mínimo 2.914.495.951 USD

El nivel máximo resulta de sumar las inversiones simples con la opción alta de la tecnología que tiene diversas alternativas (8'202.816+83.834.007+14.212.287+9.853.497.687 USD)

El nivel ½ resulta de sumar las inversiones simples con el nivel intermedio de los sitios con tecnología térmica WtE. (8'202.816+83.834.007+14.212.287+ 6.330.872.264 USD)

El nivel mínimo resulta de sumar las inversiones simples con la opción baja de la tecnología térmica (8'202.816+83.834.007 +14.212.287+2.808.246.841 USD).

Dadas las características del mercado nacional colombiano, para un valor total estimado se consideró la suma de las inversiones simples \$USD 8'202.816+83.834.007, más la suma de las tecnologías de TM+OBC y TM+BC \$USD 14.212.287 con el costo del de la opción intermedia de la tecnología WtE \$USD 6.330.872.264, lo cual arroja como valor estimado de la NAMA RSM de Colombia: **\$USD 6.437.121.374**

A continuación, se presentan los costos discriminados por escenarios de mitigación y por relleno sanitarios, además de mostrar las tecnologías involucradas para cada caso.

Tabla 63 Costos de implementación, por escenarios, NAMA RSM 2030. Valores en USD

Relleno Sanitario	Tipología	Otros Costos (Estudios pre y factibilidad, permisos y licencias)	Costo Escenario 1	Costo Escenario 2	Costo Escenario 3	Costo total por RS	# Tecnologías o proyectos	Tecnologías Escenario 1	Tecnologías Escenario 2	Tecnologías Escenario 3
Los picachos	1	330.865	1.907.333	217.239	0	2.455.437	3	RGV+Q; RGVQ+AE	TM+BC	
Parque Ambiental Andalucía,	2	219.085	886.284	217.239	0	1.322.607	2	RGVQ+AE	TM+BC	-
Parque Ambiental Pírgua,	2	219.085	815.965	217.239	0	1.252.288	2	RGVQ+AE	TM+BC	-
El Oasis,	2	219.085	880.977	217.239	0	1.317.300	2	RGVQ+AE	TM+BC	-
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	2	219.085	924.760	217.239	0	1.361.084	2	RGVQ+AE	TM+BC	-
Parque Ambiental Palangana,	3	430.969	1.089.280	217.239	156.691.577	158.429.065	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Los Corazones,	3	430.969	1.138.370	217.239	159.601.880	161.388.458	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Loma Grande,	3	430.969	1.661.119	217.239	153.631.951	155.941.278	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
La Esmeralda,	3	430.969	1.391.784	217.239	141.619.675	143.659.667	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Regional Presidente,	3	430.969	1.906.571	408.142	184.872.603	187.618.285	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE

Relleno Sanitario	Tipología	Otros Costos (Estudios pre y factibilidad, permisos y licencias)	Costo Escenario 1	Costo Escenario 2	Costo Escenario 3	Costo total por RS	# Tecnologías o proyectos	Tecnologías Escenario 1	Tecnologías Escenario 2	Tecnologías Escenario 3
Sitio de disposición final El Carrasco,	3	430.969	1.743.378	217.239	169.949.920	172.341.507	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
La Glorita,	3	430.969	2.174.579	454.897	233.816.835	236.877.280	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal.	3	430.969	2.033.942	540.336	277.732.541	280.737.788	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
La Miel	3	430.969	1.288.296	217.239	145.117.889	147.054.393	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Parque Ecológico Reciclante.	4	323.665	1.687.654	515.447	194.727.609	197.254.374	3	RGVQ+AE	TM +OBC	WtE
El Clavo	5	542.749	5.909.605	737.147	378.893.601	386.083.103	4	RGV+Q ; RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Parque Ambiental Los Pocitos (opt),	6	319.189	5.739.849	668.593	343.656.649	350.384.280	3	OAEB	TM+BC	WtE
Parque Ambiental Loma de Los Cocos (opt),.	6	319.189	7.258.535	774.145	397.910.724	406.262.593	3	OAEB	TM+BC	WtE

Relleno Sanitario	Tipología	Otros Costos (Estudios pre y factibilidad, permisos y licencias)	Costo Escenario 1	Costo Escenario 2	Costo Escenario 3	Costo total por RS	# Tecnologías o proyectos	Tecnologías Escenario 1	Tecnologías Escenario 2	Tecnologías Escenario 3
Colomba El de Guabal Yotocó,	7	430.969	5.752.883	1.678.901	699.100.790	706.963.544	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Pradera,	7	430.969	9.003.475	1.794.001	906.168.014	917.396.459	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Mondoñedo	7	430.969	3.756.092	1.678.901	488.162.023	494.027.985	3	RGVQ+AE	TM+BC	WtE
Doña Juana	8	319.189	24.883.277	2.572.148	1.299.217.983	1.326.992.597	3	OAEB	TM+BC	WtE
Total rellenos	22	8.202.816	83.834.007	14.212.287	6.330.872.264	6.437.121.374	63	2 RGV+Q; 19 RGVQ+AE 3 OAEB	21 TM+BC 1 TM + OBC	17 WtE

Fuente: elaboración propia

En síntesis, las acciones de la NAMA RSM tienen los siguientes costos:

- Un costo previo a la implementación de las tecnologías, que básicamente lo constituyen los estudios de factibilidad y los estudios asociados a ella de \$USD 8.202.816
- Un costo de implementar el escenario 1 de \$USD 83.834.007
- Un costo de implementar el escenario 2 de \$USD 14.212.287
- Un costo de implementar el escenario 3 de \$USD 6.330.872.264
- Un costo total de \$USD 6.437.121.374

Es importante resaltar que la columna “costo total por RS” nos indica el costo de todos los proyectos, incluido costos de implementación de cada uno de los escenarios y costo de estudios previos para cada sitio de disposición final; este valor engloba todas las acciones de mitigación previstas para cada uno de los sitios contemplados en la NAMA.

Costos de gobernanza de la NAMA RSM

En este ítem, se incluye los gastos de los funcionarios encargados de gestionar, medir y verificar la NAMA RSM, es decir el comité de gestión y el equipo técnico de medición verificación y reporte MVR

Tabla 64 Costo anual Gobernanza de la NAMA RSM

	USD\$
Personal	106.453
Elementos de seguridad	578
Costos de oficina	16.971
Total	124.002

Fuente: Elaboración propia

Los costos se estimaron, para un total de 7 personas, entre ellas tres profesionales técnicos con dedicación 100%, y el resto profesionales con dedicación parcial. Los elementos de seguridad se calcularon para el personal técnico responsable de la elaboración de los reportes de gestión, financieros y de reducción de emisiones. Por último, se estimó un arrendamiento de una oficina para 5 personas.

Cronograma de inversiones

El cronograma de desarrollo de la NAMA RSM está ligado a las inversiones necesarias para la implementación de cada una de las tecnologías. Se estima que los estudios de prefactibilidad y factibilidad inicien en el primer trimestre del 2021 y concluyan en el cuarto trimestre del 2021 para los proyectos RGV+Q, RGVQ+AE, OAEB y TM+BC. Por la complejidad de los proyectos WtE esta fase tendrá una duración de 5 trimestres iniciados a partir del primer trimestre de 2021. En el caso del proyecto TM+ OBC tendrá una duración de 4 trimestres iniciados en el tercer trimestre del 2021.

Los entes públicos que lideren los procesos de implementación tendrán un semestre para estructurar el sistema de contratación y firmar los contratos de la implementación de la tecnología correspondiente, a partir de la entrega de la factibilidad de cada uno de los proyectos. Sólo, los

proyectos WtE de termovalorización, por su mayor complejidad, dispondrán de 3 trimestres para realizar esta actividad.

Los proyectos RGV+Q, RGVQ+AE, OAEB y TM+BC se ejecutarán en 4 trimestres contados a partir de la firma de los contratos. El proyecto TM+OBC se ejecutará en máximo 3 trimestres a partir de la firma del contrato y los proyectos WtE de termovalorización se concluirán a los 12 trimestres (36 meses) de la firma del contrato e inicio de su implementación.

Finalmente, todos y cada uno de los proyectos dispondrá de un trimestre para realizar pruebas, puesta a punto y entrega a satisfacción después de la fase de construcción y montaje.

Así, las acciones de mitigación iniciarán en el primer trimestre del 2021 y concluirá la última su implementación y entrega a satisfacción el primer trimestre del 2026.

Por su parte, para la administración y gobernanza de la NAMA RSM, se constituirá un comité de control y seguimiento en el primer semestre del 2021, una vez concluida la concepción y formulación de la misma. Este comité se reunirá periódicamente una vez al final de cada semestre.

El equipo técnico de la Gobernanza de la NAMA RSM realizará reportes de gestión y avance del desarrollo de los proyectos en forma semestral para ser entregados al Comité de Gobernanza antes de sus reuniones.

Igualmente, el equipo técnico realizará reportes de emisiones de GEI y de información de los aspectos financieros con periodicidad anual para el análisis del comité de gobernanza en su última reunión semestral.

EL cronograma consolidado se muestra en la Figura 17. Se precisa que es de referencia, no es una obligación, es, desde la mirada técnica lo que en condiciones normales podría durar el proyecto y su seguimiento y control. Los entes responsables de la NAMA han de evaluar la propuesta de estructurar un sistema de seguimiento y control.

11.2 Análisis Costo – Beneficio de la NAMA

Una vez presentados los costos implícitos en la implementación de la NAMA de RSM y teniendo presente el Potencial de Reducción de GEI en cada uno de los escenarios planteados para los quinquenios entre 2020 y 2030, es posible evaluar cada escenario e identificar los beneficios que presenta en relación con la inversión proyectada para los volúmenes de RSM en 2030.

Costos Consolidados de la NAMA - Inversión 2030

La NAMA de RSM consiste en la implementación de seis estrategias de mitigación de GEI dependiendo del estado de los residuos.

I Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

- RGV+Q: RGV y quema. Promover e implementar en los rellenos sanitarios, que no tengan, la recolección de los gases y su quema.
- RGVQ+AE: RGV con quema y aprovechamiento energético del Biogás. Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.
- OAEB Optimización de aprovechamiento energético del Biogás: Para aquellos rellenos sanitarios que ya poseen un sistema de aprovechamiento energético del biogás se propone realizar un diagnóstico y optimización del sistema de aprovechamiento.

II Línea estratégica Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final.

- TM+OBC: Optimización Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje. Mantener y fomentar los sistemas existentes de TM o separación en la fuente + tratamiento biológico y compostaje.
- TM + BC: Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de Compostaje. Mantener y promover los sistemas existentes de TM ó separación en la fuente + compostaje.
- WtE, termovalorización eléctrica: Fomentar y promover la implementación de plantas de aprovechamiento energético de los RSM como alternativa y complemento a los rellenos sanitarios.

Estos escenarios pueden verse reflejados con los siguientes costos:

Tabla 65 Rango de costos de la NAMA de RSM Colombia 2030

Acciones de mitigación	# Sitios	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
RGV+Q	2	3.521.417		
(RGV+Q)+AE	19	42.430.930		
OAEB	3	37.881.661		
TM+OBC	1		515.447	
TM+BC	21		13.696.841	
WtE	17			6.330.872.264
Subtotal	63	83.834.007	14.212.287	6.330.872.264

Dichos costos se desagregan entre los 21 rellenos propuestos para la NAMA de RSM.

Tabla 66 Costos consolidados de la NAMA de RSM por alternativa de inversión

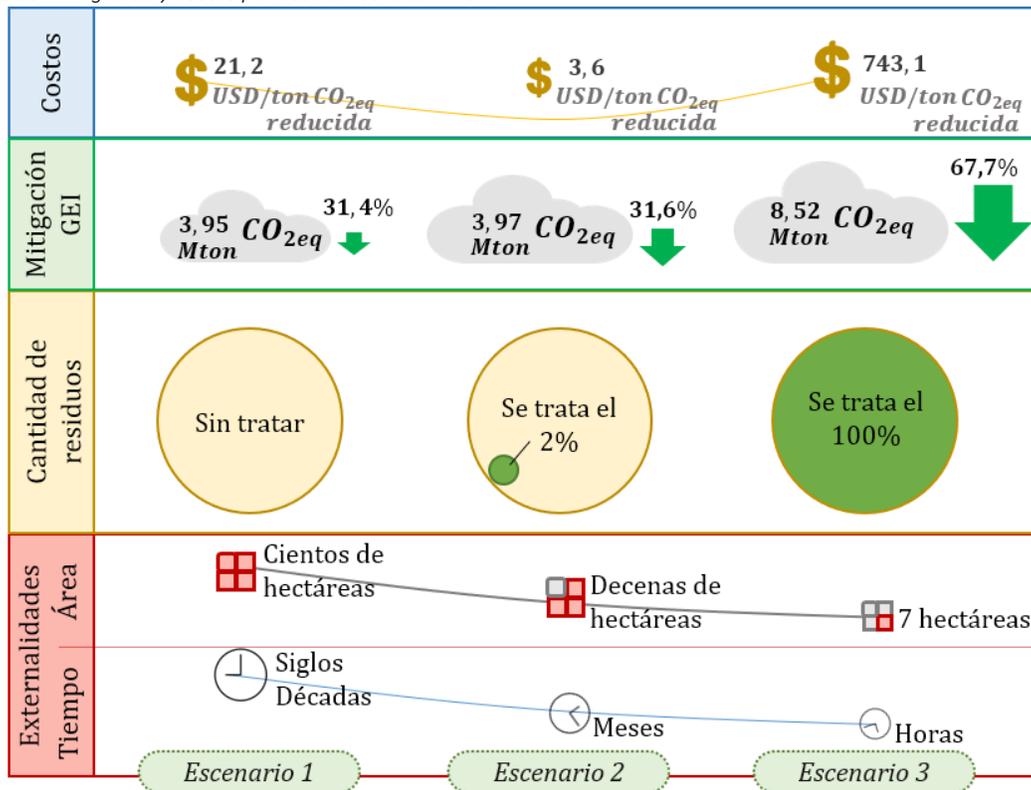
	RGV+Q	(RGV+Q)+AE	OAEB	TM+OBC	TM+BC	WtE
Doña Juana	0	0	24.883.277	0	2.572.148	1.299.217.983
Pradera	0	9.003.475	0	0	1.794.001	906.168.014
Colomba El Guabal de Yotocó	0	5.752.883	0	0	1.678.901	699.100.790
Parque Ambiental Los Pocillos	0	0	5.739.849	0	668.593	343.656.649
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	0	0	7.258.535	0	774.145	397.910.724
Nuevo Mondoñedo	0	3.756.092	0	0	1.678.901	488.162.023
Sitio de disposición final El Carrasco	0	1.743.378	0	0	217.239	169.949.920
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	0	2.033.942	0	0	540.336	277.732.541
Regional Presidente	0	1.906.571	0	0	408.142	184.872.603
La Glorita	0	2.174.579	0	0	454.897	233.816.835
Loma Grande	0	1.661.119	0	0	217.239	153.631.951
Parque Ecológico Reciclante	0	1.687.654	0	515.447	0	194.727.609
Parque Ambiental Palangana	0	1.089.280	0	0	217.239	156.691.577
Los Corazones	0	1.138.370	0	0	217.239	159.601.880
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	0	1.288.296	0	0	217.239	145.117.889
El Oasis	0	880.977	0	0	217.239	0
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	0	924.760	0	0	217.239	0
Parque Ambiental Pigua	0	815.965	0	0	217.239	0
La Esmeralda	0	1.391.784	0	0	217.239	141.619.675
Parque Ambiental Andalucía	0	886.284	0	0	217.239	0
Los Picachos	859.226	1.048.107	0	0	217.239	0
El Clavo	2.662.191	3.247.414	0	0	737.147	378.893.601
TOTAL	3.521.417	42.430.930	37.881.661	515.447	13.696.841	6.330.872.264

Descripción del Ratio Costo Beneficio

De acuerdo con los cálculos realizados por esta consultoría, los beneficios de la implementación de la NAMA de RSM puede cuantificarse y proyectarse en unidades correspondientes a toneladas de GEI reducidas por la implementación de las tecnologías recomendadas. Teniendo en cuenta los costos presentados en el capítulo anterior, el objetivo de este análisis es identificar una relación que permita medir cuánto cuesta reducir una tonelada GEI.

Se presenta a continuación la relación de los costos y de la capacidad de mitigación para cada uno de los escenarios contemplados en el modelo.

Gráfica 16: Mitigación y costos por escenarios NAMA RSM



Fuente: Elaboración propia

Para el escenario 1, que aprovecha el biogás producido por los residuos ya dispuestos, un costo de \$21.2USD/ton CO_{2eq} reducida [83'834.007÷3'950.000], con una capacidad de reducción del 31.4% de los GEI que para el año 2030 generarían los rellenos sanitarios.

Para el escenario 2, que trata la fracción de RSM de origen vegetal separados en fuente, un costo de \$USD3.6 /ton CO_{2eq} reducida [14'212.287÷3'970.000], con una capacidad de reducción de 31.6% de los GEI que para el año 2030 generarían los rellenos sanitarios, de no tratarse los residuos frescos orgánicos.

Para el escenario 3, que trata la fracción “no aprovechable” de RSM separados en fuente en bolsa negra, un costo de \$USD 743.1 /ton CO_{2eq} reducida [6.330'872.264÷8'520.000], con una capacidad

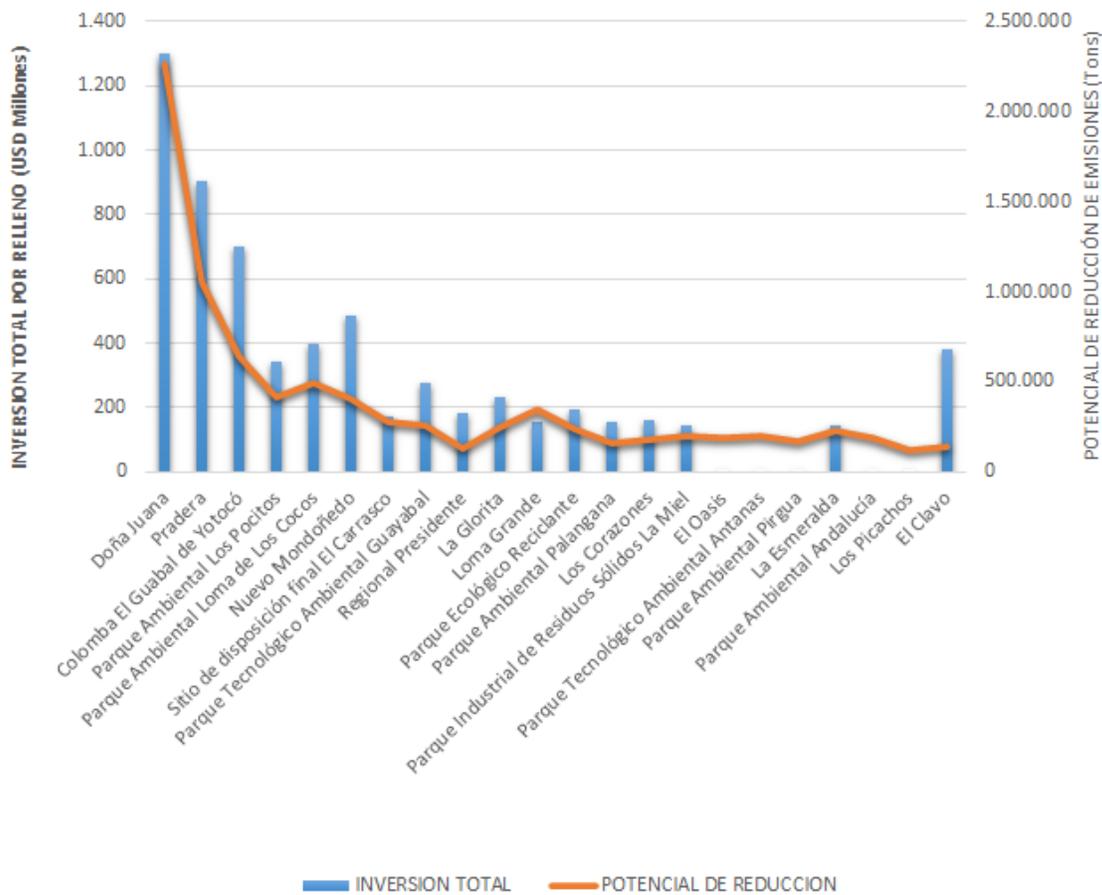
de reducción del 67.7% de los GEI que para el año 2030 generarían los rellenos sanitarios, si no se implementara ninguna acción de mitigación.

Es importante tener en cuenta, la cantidad de residuos que es tratada en el escenario 3, 100% de los residuos frescos, mientras que en el escenario 2 sólo se logra tratar el 2%, por las limitaciones de mercado del compost, las grandes cantidades de espacio requerido para su tratamiento y el tiempo empleado para obtener el producto. Por su parte el escenario número 1, no trata residuos, se limita al aprovechamiento del biogás que produce la descomposición de los residuos dispuestos.

Otra externalidad la constituye la generación de lixiviados, los cuales parten de un máximo con la situación actual, tienen una generación proporcional al residuo tratado en el escenario 2 y una eliminación para el escenario 3.

En la Figura 18 se presenta la totalidad de la inversión requerida frente a la totalidad de las emisiones reducidas tras la implementación de la tecnología propuesta. Dichas cifras son el resultado de la proyección de costos realizado en el capítulo anterior. Se evalúa la totalidad de los rellenos sanitarios para conocer la eficiencia de la inversión total sin considerar un espacio de tiempo puntual.

Figura 18 Inversión por relleno contra potencial de reducciones – Escenario 3



Estimación total de costo por tonelada de CO_{2eq} reducida

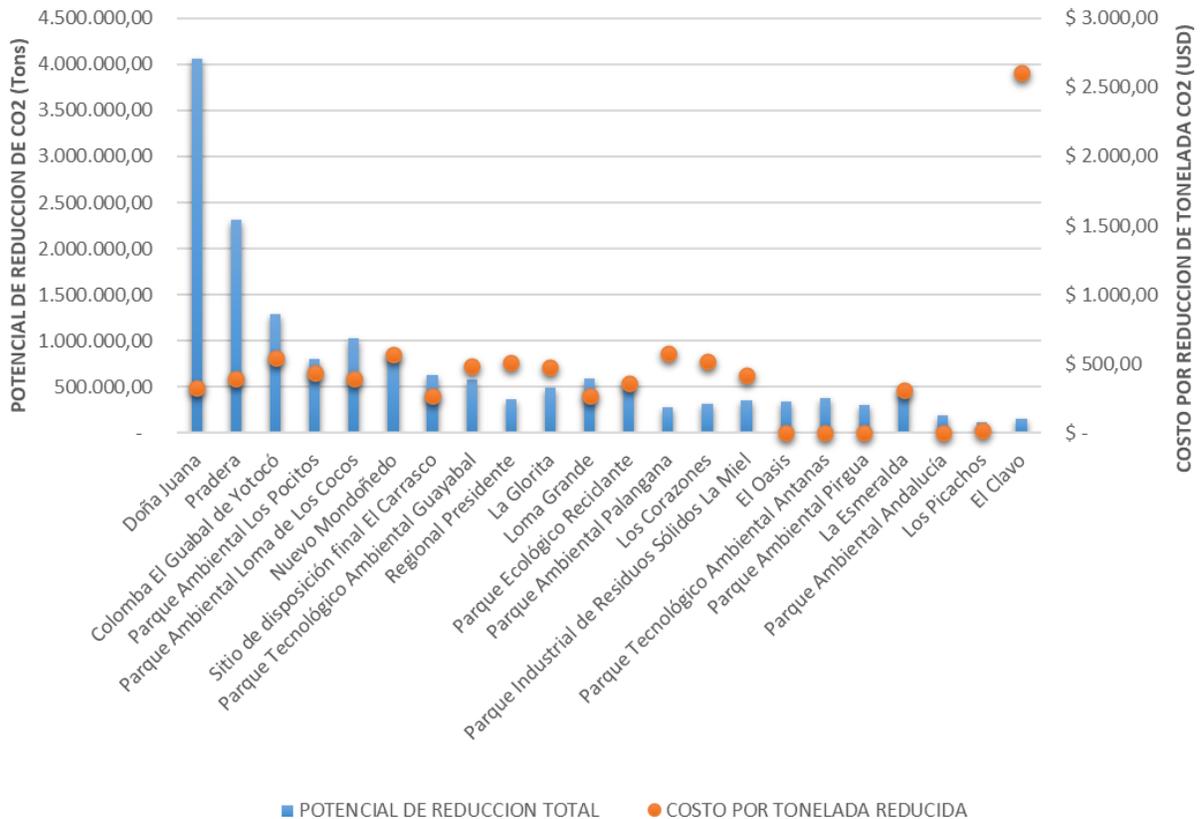
Teniendo en cuenta los resultados acumulados de reducción de emisiones de CO_{2eq} para cada uno de los escenarios definidos por la NAMA y los costos asociados a la implementación de las tecnologías, se puede obtener el costo de reducir una tonelada de CO_{2eq} en cada relleno para cada escenario:

Tabla 67 Costo por tonelada de CO_{2eq} reducida por relleno

Relleno	\$USD/tonCO _{2eq}			Todos los escenarios
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Doña Juana	\$ 28,10	\$ 2,84	\$ 573,45	\$ 326,99
Pradera	\$ 14,48	\$ 2,82	\$ 860,92	\$ 396,71
Colomba El Guabal de Yotocó	\$ 17,83	\$ 5,04	\$ 1.094,09	\$ 545,74
Parque Ambiental Los Pocitos	\$ 30,06	\$ 3,40	\$ 836,08	\$ 438,34
Parque Ambiental Loma de Los Cocos	\$ 27,24	\$ 2,83	\$ 812,52	\$ 394,27
Nuevo Mondoñedo	\$ 14,28	\$ 8,29	\$ 1.216,65	\$ 569,36
Sitio de disposición final El Carrasco	\$ 9,85	\$ 1,21	\$ 612,97	\$ 271,50
Parque Tecnológico Ambiental Guayabal	\$ 12,69	\$ 3,32	\$ 1.079,67	\$ 482,86
Regional Presidente	\$ 16,37	\$ 3,45	\$ 1.423,43	\$ 513,21
La Glorita	\$ 18,07	\$ 3,65	\$ 936,63	\$ 478,14
Loma Grande	\$ 14,30	\$ 1,82	\$ 439,36	\$ 265,80
Parque Ecológico Reciclante	\$ 10,93	\$ 3,29	\$ 822,70	\$ 359,55
Parque Ambiental Palangana	\$ 18,54	\$ 3,59	\$ 1.005,27	\$ 574,33
Los Corazones	\$ 17,29	\$ 3,21	\$ 904,59	\$ 519,16
Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel	\$ 16,63	\$ 2,72	\$ 746,50	\$ 416,82
El Oasis	\$ 11,14	\$ 2,71	\$ 0,00	\$ 3,18
Parque Tecnológico Ambiental Antanas	\$ 9,95	\$ 2,31	\$ 0,00	\$ 2,99
Parque Ambiental Pirgua	\$ 12,84	\$ 3,34	\$ 0,00	\$ 3,44
La Esmeralda	\$ 12,29	\$ 1,88	\$ 620,77	\$ 313,51
Parque Ambiental Andalucía	NO APLICA	\$ 86,83	\$ 0,00	\$ 5,82
Los Picachos	NO APLICA	\$ 767,63	\$ 0,00	\$ 17,68
El Clavo	NO APLICA	\$ 129,71	\$ 2.666,65	\$ 2.609,07

Estos resultados pueden verse reflejados frente a potencial de reducción de emisiones total de la siguiente manera:

Figura 19 Potencial de reducción de emisiones contra costo por tonelada CO_{2eq} reducida – Todos los escenarios



Se observa que Doña Juana y la Pradera son los rellenos con mayor potencial de reducción de emisiones y el costo de reducir una tonelada de GEI se ubica hacia el promedio de los costos de la NAMA seguidos por Guabal y Mondoñedo. El Oasis, Antanas, Pírgua, Andalucía y Pichachos reflejan que, dado a su bajo potencial de reducción de emisiones y volumen de residuos sólidos orgánicos, no tienen la capacidad para implementar WtE y por ende presentan los menores costos por reducción de tonelada de CO₂.

El Clavo se aleja del promedio con dato atípico, debido a la menor cantidad de GEI que se reportó en la línea BAU. Se esperaba una mayor cantidad de GEI, correspondiente con la cantidad de Residuos que se disponen en el relleno. Mientras que para un relleno que dispone una cantidad similar de residuos como es Nuevo Mondoñedo, para 2020 se estima 0.48 Mton CO_{2eq}, para el Clavo solo 0.07 Mton CO_{2eq}; por lo anterior se sugiere verificar y profundizar en la etapa de factibilidad los datos reportados en la BAU para el relleno sanitario El Clavo.

Adicional a este análisis financiero que relaciona la variable de reducción de emisiones con el costo de implementación de las tecnologías, se recomienda para las fase de estudios de factibilidad que se desarrollen posteriormente para cada uno de los rellenos involucrados en la NAMA, ejecutar un análisis integral de impacto socio económico que permita valorar la contribución de implementar las acciones de mitigación de GEI al bienestar económico de la sociedad influenciada por cada uno de los proyectos.

Se trata de complementar el análisis financiero con un análisis integral, que involucre la óptica social y, dado que el escenario sin proyecto, es decir sin implementar las medidas de mitigación de GEI, no es un escenario neutro sino que implica costos y beneficios, se evalué los costos y beneficios socioeconómicos que representa implementar los proyectos planteados. Para ello se sugiere tomar como base, la Guía para los Análisis Coste-Beneficio para Proyectos de Inversión de la Comisión Europea (2014 – 2020).

En el análisis socioeconómico de los costos, se afecta los costos de Mercado tenidos en cuenta en los análisis financieros con factores de corrección, que por ejemplo en el caso de los costos de personal, incluyan tasa de desempleo de la región e impuestos involucrados en el coste laboral –cesantías, prima, intereses a cesantías, vacaciones, pensión, caja de compensación, ARL, entre otros-. En el caso de impuestos, se excluyen del análisis dado que posteriormente serán reinvertidos a la sociedad. Lo anterior permite realizar ajustes al análisis financiero en favor de la viabilidad socioeconómica de los proyectos respectivos.

Respecto a los beneficios el análisis socioeconómico incluye aspectos como:

- Ahorro de terreno del relleno sanitario existente.
- Ahorro por menor cantidad de emisiones de GEI con respecto a las emisiones que actualmente se producen en la gestión de los residuos sólidos urbanos, en la producción de energía eléctrica y en el reciclaje de metales
- Ahorro por mejora en la salud, debido a la minimización de enfermedades causadas por la mejor gestión de los residuos sólidos una vez se implementen los proyectos. –cuantifica este ítem la disminución de gastos en sanidad pública y privada, por menor cantidad de enfermedades de la población vecina a los rellenos sanitarios, derivadas de una mejor calidad del aire, y del agua al eliminar el CH₄ y los lixiviados respectivamente-
- Impacto económico indirecto, que evalúa la inversión del proyecto en otros sectores de la economía, tales como: construcción, equipos, generación eléctrica, sector de reciclaje de RSU, fabricación y reciclaje de productos metalúrgicos.
- Tasa social de descuento, desde el punto de vista social compara beneficios y costes futuros con respecto a los actuales. Aunque algunos autores sugieren un mayor valor la Guía para los Análisis Coste-Beneficio para Proyectos de Inversión de la Comisión Europea (2014 – 2020) establece que la TSD para inversiones de carácter público debe ser del 5%.

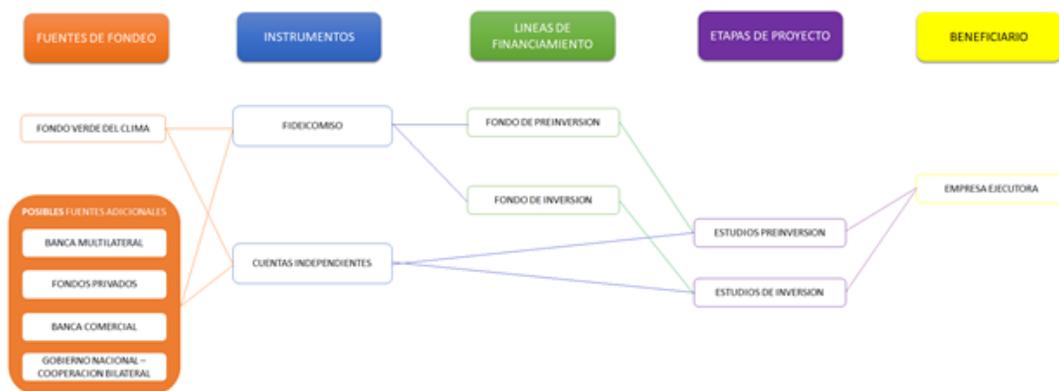
El incluir el análisis socioeconómico, permitirá optimizar las relaciones financieras VPN y la relación C/B y evidenciar que se trata de proyectos atractivos desde el punto de vista de rentabilidad social, dado que aumenta el bienestar resultante de la implementación del proyecto con respecto a la reducción de bienestar por los costes en los que se incurre.

11.3 Mecanismos y financiación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales

En el siguiente capítulo se presenta la estructura de financiación propuesta para la implementación de la NAMA RSM.

Introducción

A partir de la capacidad y los servicios que ha desarrollado Findeter para redescuento de crédito y la administración/Gestión de recursos tanto públicos como privados, el uso de una herramienta para captar y administrar recursos dirigidos al financiamiento de la NAMA de RSM es totalmente compatible con la misión de Findeter de apoyar a las regiones en la implementación de sus Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático, prioritarios para garantizar un desarrollo resiliente y bajo en emisiones de GEI. El presente documento desarrolla los elementos fundamentales para el uso de instrumentos existentes en Findeter para la financiación del sector residuos y en particular como soporte a la Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA por sus siglas en inglés) del sector residuos en Colombia.



La estructura de implementación de proyectos sigue la siguiente línea: Como principal fuente de fondeo se recurre al Fondo Verde del Clima para financiar los proyectos mediante fideicomiso o cuentas independientes según considere Findeter para captar dichos recursos. La Entidad tiene la capacidad de utilizar estas herramientas para financiar las diferentes etapas de proyecto. Como detalla el flujo presentado, el objetivo es utilizar la herramienta de Fideicomiso a través de dos subcuentas (Fondo de Preinversión y Fondo de Inversión) para canalizar los recursos a las diferentes etapas del proyecto. Igualmente, en caso de así considerarlo, la Entidad podrá utilizar cuentas independientes que tengan como propósito financiar estas etapas para canalizar los flujos captados de las diferentes entidades detalladas. Así las cosas, dependiendo de la herramienta elegida, Findeter financiará en primera instancia la etapa de preinversión otorgando recursos para los estudios y permisos necesarios. La etapa de inversión de los proyectos se financiará posteriormente, incluyendo la compra de activos, capital de trabajo y otros requerimientos necesarios para el cierre financiero de los proyectos.

No solo se cuenta con fuentes de financiamiento como el Fondo Verde. También se puede contar con otras fuentes de financiación a parte en caso de requerirlos.

Findeter, en su calidad de entidad acreditada por el Fondo Verde del Clima, desarrollará y administrará el instrumento de financiamiento para la NAMA bajo la figura de patrimonio autónomo o a través de los mecanismos de administración de recursos de terceros según los criterios de aprobación del Fondo Verde del Clima; y con la coordinación de su Junta Directiva y supervisión de la Superintendencia Financiera de Colombia. Esta herramienta permitirá identificar las necesidades financieras de los proyectos de la NAMA, las fuentes de financiamiento y los requerimientos para el desembolso de los recursos teniendo en cuenta el componente técnico de cada proyecto. Dada la naturaleza de los proyectos contenidos en la NAMA RSM Findeter podrá contar con el apoyo del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio para conceptualizar sobre los elementos técnicos de cada proyecto. Todas las operaciones de financiamiento se realizarán por medio del redescuento de créditos o la modalidad que autorice Findeter de acuerdo con las políticas y normatividad aplicable y según lo detallado en el Estatuto Orgánico Financiero.

Es importante destacar que como señala el cuadro anterior, aunque el primer originador de recursos es el Fondo Verde del Clima y el Gobierno Nacional, la estructura del fondo está diseñada para captar fondos de diferentes fuentes incluyendo entidades multilaterales, bilaterales e incluso sistema financiero.

Operatividad y Gobernanza

La Financiera de Desarrollo Territorial S.A. (FINDETER) es una entidad constituida por Ley 57 de 1989 y modificada por Decreto 4167 de 2011 cuenta con atributos en desarrollo de su objeto social para realizar operaciones como banco de segundo piso a favor de entes territoriales, entidades descentralizadas, áreas metropolitanas y asociaciones de municipios. Igualmente, de acuerdo con el numeral 1ro del artículo 270 del Estatuto Orgánico del Sistema Financiero, La Financiera de Desarrollo Territorial S.A., Findeter, es una entidad financiera de descuento, que en desarrollo de su objeto social podrá realizar las siguientes actividades:

- a. Descontar créditos a los entes territoriales, a sus entidades descentralizadas, a las áreas metropolitanas, a las asociaciones de municipios o a las entidades a que se refiere el artículo 375 del Decreto Ley 1333 de 1986, para la realización de los programas o proyectos de que trata el numeral 2. del artículo 268 del presente Estatuto;*

...

- f. Celebrar contratos de fiducia para administrar los recursos que le transfieran otras entidades públicas para financiar la ejecución de programas especiales relacionados con las actividades de que trata el numeral 2. del artículo 268 del presente estatuto.*

Actualmente, Findeter cuenta con un Fondo de Preinversión capaz de realizar las actividades de financiamiento para la etapa preoperativa de proyectos enfocados a actividades de desarrollo social. Para fines de los proyectos incluidos en la NAMA de RSM, esta facilidad le permite identificar las necesidades de financiamiento y atenderlas a plenitud.

Dependiendo de los actores interesados del mercado o las gestiones iniciales desarrolladas por Findeter como Entidad Acreditada ante el Fondo Verde del Clima (FVC) se determinarán las primeras fuentes de fondeo que permitan la operatividad de los instrumentos que seleccione Findeter en la

línea de preinversión e inversión para atender los ciclos preoperativos de los Proyectos de la NAMA con el fin de contar con los recursos necesarios para iniciar estos proyectos.

Operación

La financiación de la NAMA de RSM operará a través de las diferentes líneas o mecanismos existentes en Findeter para atender las líneas de preinversión e inversión mencionadas en los capítulos anteriores. Sin embargo, se podrá realizar diferentes tipos de financiamiento de acuerdo a la normatividad aplicable en la entidad que no necesariamente requieran de un intermediario financiero.

Esta propuesta de financiamiento no considera el uso de crédito directo dada la naturaleza de la entidad, sin embargo, Findeter puede explorar esta alternativa dirigida al financiamiento de entidades públicas a futuro. De igual manera, en este documento no se evalúa la alternativa de recurrir a créditos sindicados dada la complejidad asociada a este tipo de operaciones para financiamientos masivos, sin descartar que pueda ser una alternativa a evaluar a medida que avance el desarrollo y la implementación de la NAMA de RSM.

Facilidad de Asistencia Técnica y Preinversión.

Esta línea de financiamiento de preinversión administrará recursos destinados a la asistencia técnica de proyectos que requieran desarrollar estudios técnicos de pre o factibilidad para llevar a cabo proyectos enmarcados en la NAMA RSM. Para dicho fin, se recurrirá al Fondo de Preinversión o a la utilización de los mecanismos independientes previamente constituido en Findeter y se financiará estudios y diseños asociados a:

1. Prefactibilidad (PFS) y Factibilidad (FS) para implementación de proyectos de valorización Energética (u otra calase de valorización) de residuos sólidos urbanos con impacto sobre la disminución de emisiones de GEI.
2. Estudios y diseños para el desarrollo de facilidades institucionales o en sitios de disposición final para el tratamiento/aprovechamiento/valorización energética de residuos orgánicos (biodegradables/putrescibles).
3. Estudios y diseños asociados al desarrollo de infraestructura para la recuperación, aprovechamiento y producción de materias primas a partir de material reciclable, tanto al interior de operaciones de disposición final como en operaciones especializadas para dichas actividades.
4. Estudios de PFS/FS para la conversión de flotas de recolección, transporte o equipo operativo (en rellenos sanitarios) a tecnologías bajas en emisiones de GEI.
5. Estudios de PFS/FS para la recuperación de biogás con generación de energía en rellenos sanitarios existentes o nuevos.
6. Estudios y diseños asociados a la mejora en las rutas de recolección de RSU, rutas selectivas, o sistemas masivos de transporte de RSU que representen reducciones significativas de GEI (al menos el 30% por debajo del business as usual).

7. Estudios y diseños para la implementación de sistemas de recuperación mecánica/electrónica de materiales con potencial de aprovechamiento energético.
8. Estudios u diseños tendientes a definir tecnologías de instrumentación y/o medición de: variables asociadas al aprovechamiento térmico/mecánico de RSU, emisiones de GEI por parte de flotas de transporte, sistemas de carga / eficiencia de combustibles alternos y en general todas las asociadas a realizar medición, seguimiento y evaluación de emisiones de GEI.
9. PF/FS de Sistemas de tratamiento de aguas residuales derivadas de operaciones de disposición final con motivo de realizar valorización energética de los derivados del tratamiento (gases/lodos).
10. Estudios prediales, legales, de licenciamiento/permisos ambiental o urbanístico entre otros; asociados a la factibilidad de cualquiera de los tipos de proyectos mencionados anteriormente.
11. Sistemas industriales para la valorización energética de RSU o incorporación como materia prima de los mismos que demuestren reducciones significativas de GEI (al menos el 20% por debajo del business as usual).

Facilidad de Financiación

Findeter determinará los instrumentos de financiación mediante los cuales participará en los proyectos asociados a la implementación de la NAMA RSM, así mismo determinará las condiciones de mercado (Tasa, plazos y alta concesionalidad), apetito de riesgo y condiciones habilitantes para generar movilización de recursos y ejecutar el mecanismo necesario de acuerdo con las líneas de financiamiento de la entidad. Las líneas de financiamiento podrán tener diferentes modalidades, como tasas compensadas, contrapartidas, recursos no reembolsables, entre otros.

De igual manera, determinará las fuentes de fondeo para esta facilidad las cuales pueden llegar a incluir recursos del Fondo Verde del Clima, Bancos de Desarrollo Locales/Multilaterales, Banca Comercial, Fondos de Inversión de Impacto, Banco Comerciales Internacionales, Inversionistas de Capital, recursos públicos nacionales.

Costos y Operación

Cualquier gasto que sea generado como resultado de ejercer las funciones para las cuales fue diseñado este instrumento, deberá ser atendido 100% por los aportes captados de terceros, asegurando que Findeter no requiera aportar recursos ni capital a la operación.

Seguimiento Técnico

Findeter está facultado para administrar el mecanismo para financiar las inversiones de la NAMA de RSM. Sin embargo se propone que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como ministerios facultados como brazo

técnico para realizar el seguimiento a la implementación de las inversiones de la NAMA de RSM y su correspondiente impacto ambiental de acuerdo a la gobernanza propuesta para el mecanismo.

Posibles alternativas de financiación futuras

En el anexo a este informe se propone el manual de funcionamiento para un fondo de capital especializado que permita ser parte de la estrategia de financiamiento para la NAMA de RSM. Este fondo se denomina el Fondo Territorial de Cambio Climático y la constitución de dicha herramienta cumple con los mismos requerimientos que la apertura de un patrimonio autónomo, acogiéndose a las atribuciones otorgadas a Findeter para este fin.

Gobernanza

Findeter en su calidad de administrador de la herramienta de financiamiento, utilizará su estructura organizacional actual para ejecutar las funciones de Gobernanza.

A futuro, podrá crearse un fondo a través de un mecanismo como una fiducia para fortalecer la estrategia de financiamiento de la NAMA de RSM. A continuación, se presentan las principales funciones que podrá realizar FINDETER dentro de la prestación de servicios de GERENCIA, GESTOR PROFESIONAL, ANALISIS DE INVERSIONES y VIGILANCIA para el Fondo. Los Fondos de Capital están conformados por una sociedad administradora, un gestor profesional, un comité de inversiones, un comité de vigilancia y una asamblea de inversionistas.

1. **Gerencia:** El Gerente tiene dentro de sus funciones principales gestionar todas y cada una de las decisiones de financiamiento que realice en nombre y representación del fondo. Igualmente será responsable de la representación legal del fondo en el caso que la Junta Directiva le asigne dicha responsabilidad.
2. **Recaudo de Fondos:** Dentro de las gestiones que realizará el fondo, será responsabilidad del gestor profesional realizar las actividades de captación de recursos de terceros provenientes de instituciones multilaterales, entidades bilaterales, fundaciones y entidades nacionales. Por lo tanto, se requiere asignar las siguientes tareas a un área funcional que asuma su responsabilidad:
 - Apoyo en la gestión de consecución de recursos financieros internacionales
 - Apoyo en la gestión de consecución de recursos financieros provenientes de entidades del sector público nacional
 - Apoyo en la gestión de consecución de recursos financieros provenientes de entidades del sector privado nacional.
3. **Colocación de Fondos:** La gestión de colocación de fondos se divide en las siguientes funciones con el fin de ubicar la manera más eficiente de asignar los recursos del fondo y obtener el mayor impacto socio ambiental:
 - Evaluación técnica de proyectos para presentación al Comité de Inversiones para la toma de decisiones de financiamiento en el marco de la implementación de la NAMA

RSM. Esta actividad deberá realizarse por medio de los ministerios facultados para dar los conceptos técnicos

- Seguimiento y acompañamiento técnico a la implementación y ejecución de los proyectos, incluyendo reportes a la cabeza de cada patrimonio autónomo para presentación ante los respectivos inversionistas.
- Evaluación de Riesgos, incluido la implementación y cumplimiento de normas de prevención de lavado de activos y financiación del terrorismo (SARLAFT) y manejo de riesgos operativos (SARO).
- Gestión de reportes de cumplimiento técnico y avance de proyectos para inversionistas.

4. Funciones Administrativas y Financieras: Responsables de ejecutar todas las tareas administrativas para la ejecución de las funciones del fondo y la toma de decisiones correspondientes al manejo de los recursos recaudados.

- Administración del Patrimonio Autónomo o el mecanismo seleccionado para su ejecución: Evaluar las condiciones del mercado, administrar y tomar decisiones para el manejo de los recursos. Al igual que definir niveles de riesgo de liquidez y mercado para la toma de decisiones de financiamiento.
- Relación con inversionistas, incluyendo apoyo en la gestión comercial de recaudo y la presentación de informes y datos críticos.
- Gestión de reportes de manejo de liquidez y desembolso de recursos para inversionistas.

5. Comité de Inversiones y Junta Directiva: Entidades de mayor relevancia dentro del fondo para la toma de decisiones y representación legal del Fondo.

6. Vigilancia: Este comité realizará las auditorias y otros sistemas de control sobre el cumplimiento de las políticas técnicas, administrativas y financieras del fondo. Principalmente:

- La evaluación de todos los riesgos presentados en el capítulo de Evaluación de Riesgos de este documento
- Verificación del cumplimiento de todas las políticas de financiamiento de acuerdo con el capítulo de Operación de este documento.

10.3.2.1. Sostenibilidad

Findeter, en calidad de administrador del instrumento de financiación podrá determinar las fuentes que considere necesarias para garantizar el fondeo mínimo que requieren y cubrir las necesidades de financiación de los proyectos de la NAMA de RSM. De acuerdo con el convenio de acreditación entre Findeter y el Fondo Verde Del Clima, la entidad podrá solicitar recursos para la ejecución de los proyectos tras cumplir con los requerimientos pactados entre las dos entidades para la presentación

de los proyectos, evaluación y aprobación de fondeo, incluyendo las condiciones establecidas en el Anexo 2 del acuerdo de acreditación.

De igual manera, Findeter puede determinar el tamaño de los recursos organizacionales a utilizar para la operación del fondo con miras a garantizar la sostenibilidad del fondo y evitar sobrecostos innecesarios, al mismo tiempo que cumple con los requerimientos para la cuenta bancaria o instrumento fiduciario a utilizar según el acuerdo de acreditación con el FVC que incluye:

- a. estar separada de la cuenta utilizada para el propósito de los otros dineros y fondos de la Entidad Acreditada; y*
- b. se abrirá en un banco con una calificación crediticia a largo plazo de BBB+ o superior por S&P o Fitch o Baa1 o superior en Moody's, o de otro modo en un banco aceptable para el Fondo, que cumpla debidamente con todas normas y reglamentos aplicables de los países anfitriones y de la banca internacional.*

En ningún momento, este instrumento de financiación deberá operar por fuera de las funciones atribuidas a Findeter, pero contará con la flexibilidad de aumentar o disminuir su tamaño de acuerdo con las necesidades que determine la entidad.

Findeter deberá evaluar las necesidades de fondeo de acuerdo a los costos proyectados para los proyectos de la NAMA de RSM detallados en este informe y en el informe de prefactibilidad. Teniendo en cuenta dichas proyecciones, puede proceder a determinar el mecanismo más adecuados para captar y canalizar recursos para la financiación de los proyectos de acuerdo con los requerimientos de la entidad que los vaya a otorgar.

12 Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)

El concepto de MRV se origina en la necesidad de medir, reportar y verificar las emisiones de GEI acorde al plan de acción climática dado en la CMNUCC dentro del acuerdo de París en 2015. Allí se establecieron disposiciones universales y armonizadas de MRV para la mitigación del cambio climático y se adoptó un sistema común de acción y apoyo en un marco de transparencia sólido.

El propósito del presente sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación -MRV- es evaluar la ejecución de las acciones de mitigación y el logro de los objetivos y metas asociadas (Medición-Monitoreo), así como la identificación y adopción de las medidas correctivas que sean necesarias para la NAMA RSM. En este sentido, los componentes de Reporte y Verificación garantizan el flujo de información coherente y fiable a las autoridades competentes y actores involucrados en la NAMA RSM convirtiéndose en una de las principales herramientas de gestión ya que permite evaluar objetivamente las acciones a través de diferentes tipos de indicadores. Asimismo, pretende generar información sectorial que pueda ser incluida en los reportes regionales y nacionales de mitigación o en los inventarios nacionales GEI para las comunicaciones nacionales (NCs¹³) y los informes bienales (BURs¹⁴) sobre cambio climático que se reportan a la CMNUCC.

Para el diseño de un sistema -MRV- se debe considerar tres aspectos: i) el monitoreo o seguimiento de las reducciones de emisiones GEI en función de las acciones que se implementan para el logro del objetivo trazado; ii) se deben llevar a cabo reportes para informar los avances realizados en la etapa de monitoreo y; iii) es necesaria la verificación como evidencia de que realmente se está produciendo.

En este contexto, los sistemas MRV son un pilar de los instrumentos de política de mitigación de GEI, desempeñando un rol fundamental para el diseño, ejecución y evaluación de las políticas de la gestión ambiental. El tener un sistema MRV eficaz garantiza y ayuda a los países a comprender las fuentes y tendencias de las emisiones, diseñar estrategias de mitigación, mejorar la credibilidad y legitimar la toma de decisión para implementar acciones políticas complementarias.

12.1 Estructura de los sistemas MRV

Como lo plantea el World Resources Institute -WRI-, la mitigación eficaz del cambio climático requiere una comprensión clara de las emisiones de GEI y sus fuentes. Además de un seguimiento regular de las estrategias de mitigación y sus impactos. En la práctica, el sistema MRV integra tres procesos independientes, pero relacionados a su vez:

- *Medición o monitoreo (M)* de datos e información sobre emisiones, acciones de mitigación y apoyo. Implica la medición física directa de las emisiones de GEI, la estimación de las emisiones o las reducciones 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.

¹³ Siglas en inglés de *National Communications*.

¹⁴ Siglas en inglés de *Biennial Update Reports*.

- *Reportar o informar (R)* compilando esta información en inventarios y otros formatos estandarizados para hacerla accesible a una variedad de usuarios y facilitar la divulgación pública de información.
- *Verificar (V)* sometiendo periódicamente la información reportada a alguna forma de revisión o análisis o evaluación independiente para establecer que esté completa y confiable. La verificación ayuda a garantizar la precisión y conformidad con los procedimientos establecidos y puede proporcionar comentarios significativos para futuras mejoras. La Figura 20, muestra los tipos de -MRV- relacionados con la mitigación.

Figura 20: Varios tipos de MRV relacionadas con la mitigación



Fuente MRV 101: Understanding measurement, reporting and verification of climate change mitigation WRI (2016)

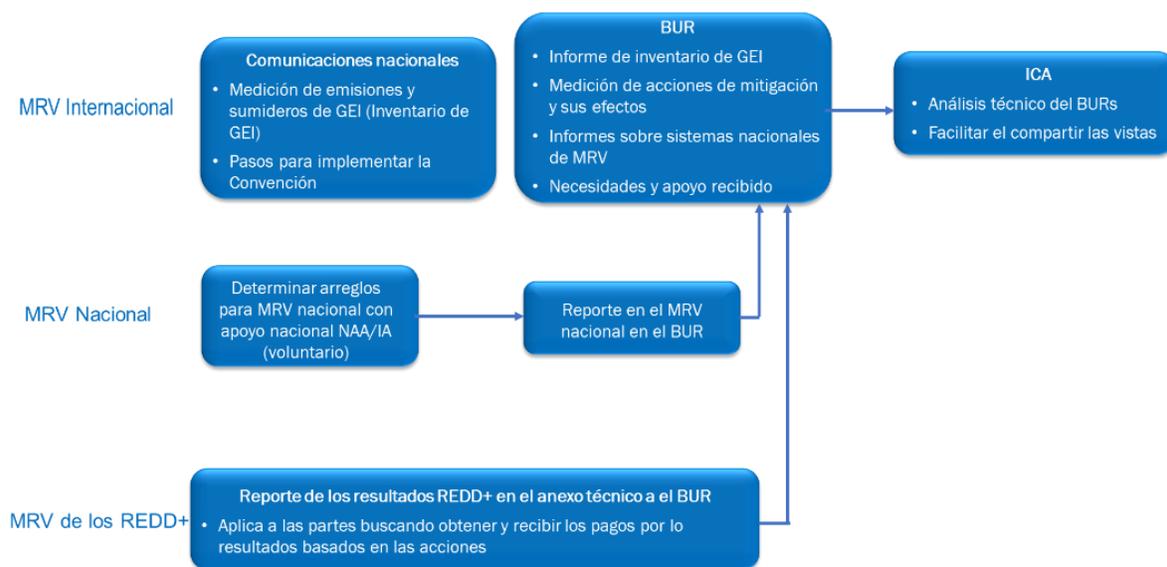
Acorde a la figura, existen tres tipos de sistema MRV clasificados según la cobertura y los objetivos que cumplen las acciones de mitigación, así:

- **MRV de emisiones de GEI.** Implica medir y monitorear las emisiones y remociones de GEI y las actividades asociadas a nivel País, organizacional o de instalaciones, reportar los datos recolectados en un inventario de GEI u otras formas y llevar a cabo la revisión y verificación. Por ejemplo, los inventarios nacionales de GEI incluyen un recuento de las emisiones de un país durante un período en particular, se informan a la CMNUCC y se someten a algún tipo de revisión.
- **MRV de las acciones de mitigación.** Estas se refieren a intervenciones y compromisos, incluidas metas, políticas y proyectos, emprendidos por un gobierno u otra entidad para reducir las emisiones de GEI. Los ejemplos incluyen planes climáticos nacionales, contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), políticas que establecen estándares de emisiones para vehículos, sistemas regionales de comercio de emisiones, políticas de producción sostenible de productos, entre otros. El MRV de las acciones de mitigación incluye estimar, informar y verificar sus GEI y sus efectos de desarrollo sostenible, así como monitorear su implementación. En este sentido, mientras que el MRV de las emisiones de GEI mide las emisiones reales, el MRV de las acciones de mitigación estima el cambio en las emisiones y otras variables no relacionadas con los GEI que resultan de esas acciones.

- **MRV del apoyo.** Se enfoca en hacer seguimiento al soporte o apoyo de distinta índole para garantizar que las acciones de mitigación sean efectivas. El apoyo se refiere al financiamiento climático, la transferencia de tecnología y/o el desarrollo de capacidades. Incluye apoyo monetario, como financiamiento climático para desarrollar un sistema nacional de comercio de emisiones, inversiones en tecnologías de bajas emisiones y fondos para organizar talleres de capacitación para auditores de energía.

Específicamente cuando se analiza el MRV de las NAMAs, los tres tipos de MRV tienen vigencia. Así, en relación a las emisiones, la CMNUCC plantea que los países deben medir y reportar las emisiones de GEI general a nivel país, brindando tres marcos de análisis: i) MRV internacional, ii) MRV nacional y iii) MRV de los REDD++. La Figura 21 muestra los elementos clave del Marco MRV.

Figura 21: Elementos claves del marco MRV



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía OLADE (2018)

A nivel de MRV internacional. Se consideran los siguientes reportes:

Reportes bienales de Actualización -BUR-. Los Reportes Bienales de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) representan un esfuerzo por mejorar el reportaje de las acciones de mitigación y sus efectos, así como de las necesidades y el apoyo recibido para implementar esas acciones en las

Comunicaciones Nacionales. Incluyendo los inventarios. Los reportes sirven de insumo para el proceso de consulta y análisis internacional que busca incrementar la transparencia de las acciones de mitigación y sus efectos.

Análisis de consulta internacional -ICA-. Incluye el análisis técnico de los BUR por un equipo de expertos y el intercambio facilitador de opiniones, en forma de talleres convocados a intervalos regulares en el marco del Órgano Subsidiario de Ejecución -OSE-, lo cual lo convierte más que en un proceso de revisión en un proceso de apoyo para la toma de decisiones.

A nivel de MRV Nacional. Se consideran los siguientes reportes: Inventario nacional de emisiones, clasificadas por fuentes, remociones y sumideros -IGEI-; Circunstancias Nacionales, incluyendo una descripción de las medidas adoptadas o previstas para aplicar la Convención; Medidas para facilitar

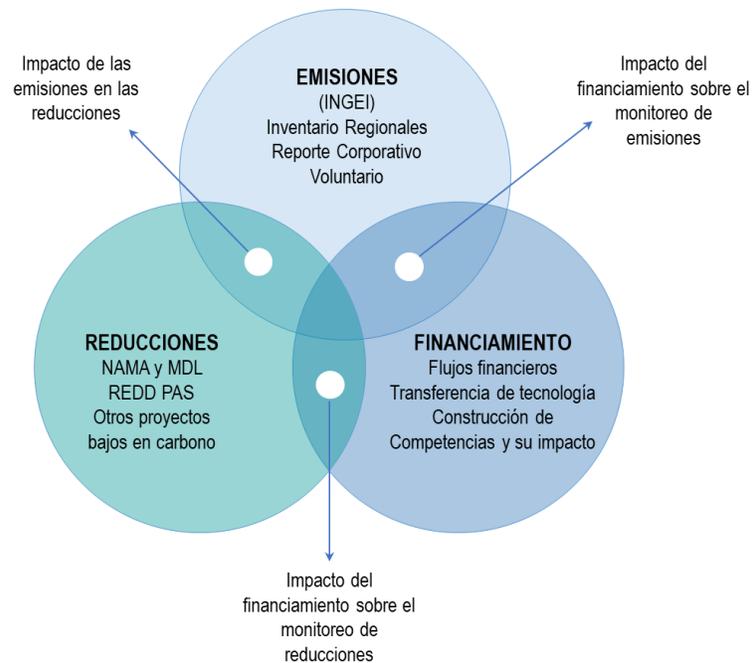
la adecuada adaptación al cambio climático y; Medidas para abordar la mitigación del cambio climático.

El MRV para REDD+. Se aplica a las actividades relacionadas con la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación forestal y; el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal en los países en desarrollo.

12.2 Sistema MRV de Colombia

Desde el primer semestre del año 2015 el -MADS-, el Instituto de Recursos Mundiales -WRI-, la - ECDBC- y la Agencia para la Cooperación Alemana (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) -GIZ- aunaron esfuerzos para la formulación conceptual del Sistema Nacional MRV para Colombia, el cual debe dar seguimiento a las emisiones de GEI, la implementación de medidas de mitigación y su respectiva reducción y el financiamiento de la gestión del cambio climático, así como dar seguimiento a las medidas de adaptación emprendidas por el país, monitoreando, reportando y evaluando su implementación e impacto. La Figura 22 muestra el enfoque del Sistema Nacional MRV.

Figura 22: Enfoque del sistema Nacional de MRV



Fuente: Documento Nacional del Sistema MRV para Colombia (MADS, 2017)

Cada enfoque tiene un objetivo en cuanto a la información que se desea monitorear, aquella que se desea reportar y finalmente los procesos de validación y verificación a ser implementados. En la Figura 23 se resumen dichos objetivos por enfoque abordado.

Figura 23: Información característica de cada enfoque del sistema nacional de MRV

Sistema Nacional de MRV Colombia – Enfoque Emisiones		
<p>¿Qué se mide?</p> <p>Emisiones y reducciones de GEI a nivel nacional, regional y sectorial con base a las directrices del IPCC</p>	<p>¿Qué se reporta?</p> <p>Emisiones y absorciones de GEI a nivel nacional, regional y sectorial para responder a los compromisos adquiridos (por ejemplo. A través de Comunicaciones Nacionales, Informes Bienales de Actualización (BUA) e inventarios de GEI</p>	<p>¿Qué se valida?</p> <p>Revisión de la calidad de la información y métodos con los cuales se estiman las emisiones y absorciones</p> <p>¿Qué se verifica?</p> <p>Supuestos y metodología empleada para la estimación de emisiones y absorciones de GEI a nivel nacional, regional y sectorial de acuerdo a los lineamientos de IPCC</p>
Sistema Nacional de MRV Colombia – Enfoque Reducciones		
<p>¿Qué se mide?</p> <p>Emisiones y reducciones de acuerdo con el escenario base de emisiones. El avance en la consecución de las metas de desarrollo sostenible/co-beneficios</p>	<p>¿Qué se reporta?</p> <p>Los datos acerca del ahorro de emisiones y metodologías/objetivos de sustentabilidad, cobertura, acuerdos institucionales y actividades con base en las directrices cualitativas y cuantitativas para la presentación de los informes bienales de actualización (BUR) y reducción de emisiones en los proyectos MDL y reporte de reducción de emisiones por actividades REDD+</p>	<p>¿Qué se valida?</p> <p>Revisión de la calidad de la información y métodos con los cuales se estiman las reducciones logradas por medio de las iniciativas de mitigación. En el caso del MDL se valida mediante los CDM Project Standars</p> <p>¿Qué se verifica?</p> <p>Toda la información cuantitativa y cualitativa reportada para la medida de mitigación; los datos se podrían verificar por medio de procedimientos nacionales, Consulta y Análisis Internacionales y se deben aplicar los criterios de transparencia, exhaustividad, comparabilidad y precisión. En el caso del MDL se verifica de acuerdo al Manual de verificación y validación de MDL.</p>
Sistema Nacional de MRV Colombia – Enfoque Financiamiento		
<p>¿Qué se mide?</p> <p>Flujos de financiamiento provenientes de diversas fuentes (públicas, privadas, nacionales e internacionales) destinadas para acciones de mitigación y adaptación (o ambas) al cambio climático</p>	<p>¿Qué se reporta?</p> <p>La información cuantitativa transparente, clara, desagregada, comprable, y periódica sobre flujos de financiamiento climático. Se reporta de manera pública a través de informes como los BURs y la plataforma digital</p>	<p>¿Qué se verifica?</p> <p>Que la información presentada sea correcta y veras, y que permita la evaluación del impacto y efectividad del recurso transferido</p>

Fuente: Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC (BURN, 2018)

En este contexto, el presente capítulo se centrará en el enfoque de reducción de emisiones, el cual fue determinado para las NAMAs y comprende: i) el seguimiento continuo al avance y los impactos generados por la implementación de iniciativas de mitigación a nivel nacional, territorial y local; ii) el monitoreo como un proceso de recolección y análisis de información de las acciones en el país que generan reducciones de emisiones de GEI, su financiamiento y sus cobeneficios asociados, a través del tiempo y en el espacio y; iii) el reporte considera las salidas del sistema a través de la presentación de los resultados de la información consolidada y analizada en el tiempo hacia instancias nacionales e internacionales y su aporte al cumplimiento de los compromisos de reporte de avance de las -NDC- en el acuerdo marco de Paris.

Por otra parte, para lograr el monitoreo, reporte y verificación de las acciones que generan reducción de emisiones de GEI en el sistema MRV, se hace necesario definir un flujo de la información a través de las cuatro etapas: 1) la preparación de la información, 2) registro o recolección de información, 3) la consolidación y análisis de la información y 4) el reporte de la información. Adicionalmente, de manera transversal, los procesos de validación y verificación pueden desarrollarse en cualquier etapa consecutiva del flujo de información para la retroalimentación y aseguramiento de la calidad y control de la información en el tiempo. El flujo de información del MRV de reducciones de emisiones se ilustra en la Figura 24.

Figura 24. Etapas de flujo de información del Sistema Nacional de MRV



Fuente: Documento Nacional del Sistema MRV para Colombia (MADS, 2017)

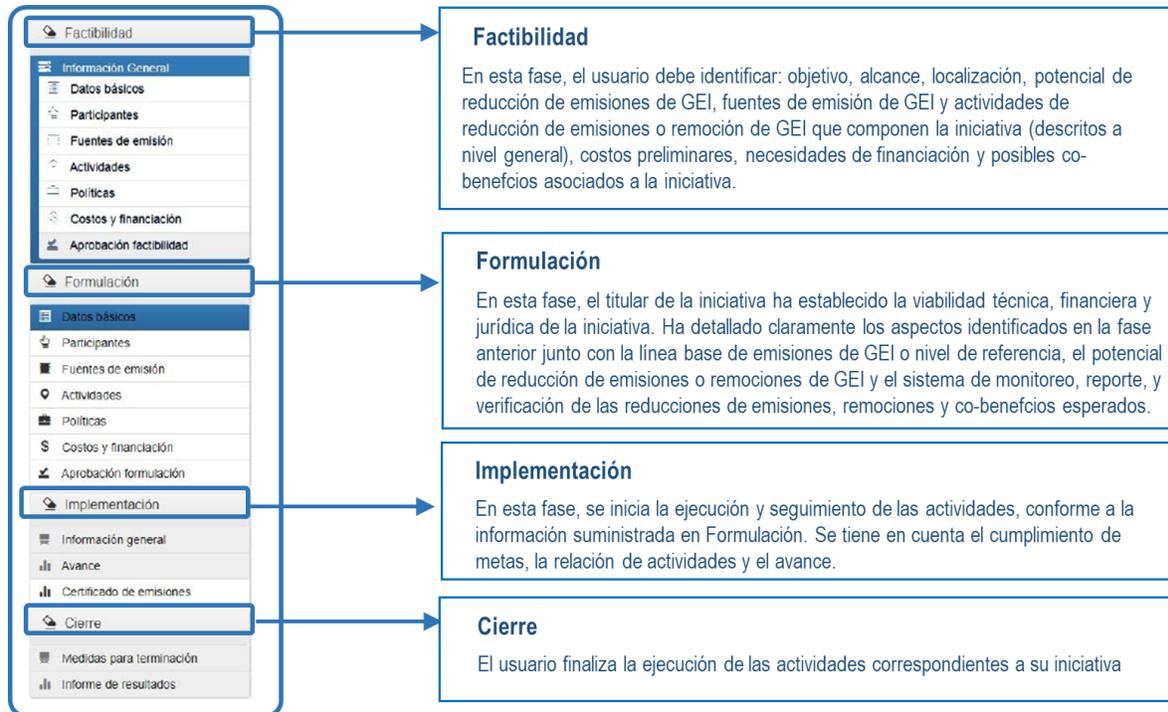
12.3 Sistema RENARE

Coherente con el flujo de información mostrado en la figura anterior, el -MADS- y el -IDEAM- desarrollaron la plataforma *Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero -RENARE-*. Esta plataforma web, administrada por el IDEAM como parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia -SIAC-, permite registrar y hacer el seguimiento de los proyectos que buscan reducir las emisiones de GEI en el país y reportar sus resultados a lo largo del tiempo. Así las cosas, a nivel País se podrá conocer, gestionar y evaluar los resultados obtenidos en materia de mitigación de GEI emitidos a la atmósfera, a la vez que se monitorea y reporta los avances del país en el marco de los compromisos internacionales adquiridos para enfrentar el cambio climático, como es el caso del Acuerdo de París, específicamente permite:

- Consolida los proyectos de acuerdo con las reglas establecidas por la plataforma. Los registrados deberán reportar las emisiones evitadas de GEI, producto de la implementación de sus actividades e iniciativas de mitigación.
- Contabiliza y registra esas reducciones de emisiones y capturas de Gases Efecto Invernadero (GEI).
- Contabiliza los resultados de los proyectos registrados. Estas iniciativas, aportan a las metas nacionales de reducción de Gases Efecto Invernadero.

La Figura 25 muestra la estructura que tiene la plataforma RENARE, donde se establece cuatro etapas para el registro de las iniciativas: Factibilidad, Formulación, Implementación y Cierre.

Figura 25: Estructura de la plataforma RENARE



Fuente: RENARE: Manual de usuario (IDEAM, 2020)

De esta forma RENARE, junto con otras plataformas como el Sistema Nacional de Inventarios de Gases Efecto Invernadero y el Sistema Integrador de Información sobre Vulnerabilidad, Riesgo y Adaptación -SIVRA-, hacen parte del Sistema Nacional de Información de Cambio Climático de Colombia, con el cual el país realizará el seguimiento a las metas adquiridas en el marco del Acuerdo de París y el Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

12.4 Sistema MRV de la NAMA RSM

Para la construcción del sistema MRV de la NAMA RSM se debe tener en cuenta que la misma tiene un alcance programático o subsectorial a nivel de proyecto. En la fase de formulación dentro del contexto de la NAMA se pretende: establecer los indicadores y la información necesaria para monitorear la implementación de las acciones que conforman la NAMA; así como los lineamientos para la ejecución de las actividades de reporte y verificación. Este capítulo servirá de referencia para establecer los manuales detallados y protocolos de operación del MRV una vez se hayan realizado los acuerdos institucionales y se operativice la estructura de gobernanza de la NAMA en la fase de implementación.

El MRV de la NAMA se basa en la medición de información, obtenida en el ecosistema de intervención, a través de indicadores. Para que el MRV logre evaluar el progreso y los impactos de la NAMA, la medición debe responder a las preguntas: ¿Qué información y datos recopilar?, ¿Cómo

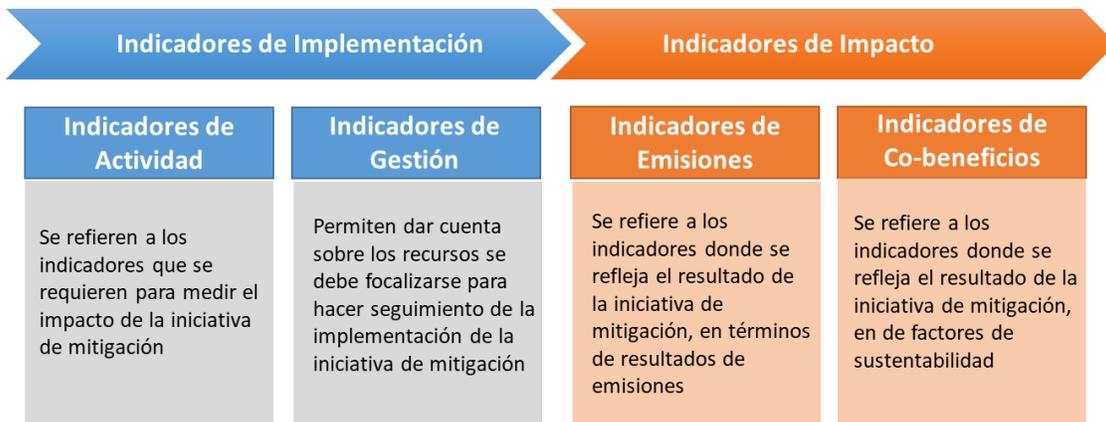
recopilar información y datos?, ¿Quién es responsable de recopilar información y datos?, ¿Cuánto tiempo se almacenan la información y los datos, y cómo hacerlo (electrónicamente, registro de documentos, etc.)?, ¿Cómo se gestiona el almacenamiento, así como la frecuencia de generación de datos y de su recolección?.

Monitoreo

El monitoreo -M- se realiza justo después de que un programa ha comenzado y continúa durante todo el período de implementación del mismo. Así, en una NAMA, la metodología de medición cubre solo aspectos que se medirán durante la fase de implementación, por ello es importante resaltar que se deben desarrollar indicadores a nivel sectorial para rastrear los impactos posteriores a la implementación de la NAMA.

Dado que los indicadores son un medio para realizar un seguimiento del cambio o evolución del desarrollo de una acción de mitigación, definirlos en el marco del MRV de la NAMA RSM implica un proceso sensible y metódico. Al respecto, existen distintos tipos de indicadores y están estructurados como se muestra en la Figura 26:

Figura 26: Tipos de indicadores MRV



Fuente: Documento Nacional del Sistema MRV para Colombia (MADS, 2017)

Así las cosas, el monitoreo se abordó mediante la definición de indicadores para cada una de las líneas estratégicas formulando indicadores acordes a cada tipología descrita anteriormente (Actividad, Gestión, Emisiones y Co-Beneficios) con su respectiva ficha descriptiva, la cual contempla: las unidades, el método de medida, la fuente de la información, el grado de incertidumbre, la frecuencia de medición y el responsable de la gestión del indicador. Para la identificación de los indicadores de co-beneficios, se tuvo en cuenta el análisis realizado en la sección 10, estos indicadores fueron priorizados de acuerdo nivel de relación entre cada co-beneficio y cada alternativa tecnológica representado por el porcentaje Tecnología/Medida, presentados en la Tabla 36.

Por otra parte, en el entendido de la captura de información necesaria para el monitoreo, la herramienta sectorial de mayor utilidad que se logró identificar como posible fuente de información de reporte de datos es el Sistema Único de Información -SUI- del sector servicios públicos. Si bien la herramienta brinda parte de la información necesaria para algunas de las variables en cuanto a

toneladas de residuos en disposición final, toneladas de material aprovechado (ordinarios y aprovechables) y tratamiento de lixiviados, caracterización de residuos, entre otros, aunque su función misional se basa en la recopilación de información necesaria para el control y seguimiento tarifario especialmente.

Durante la construcción de la NAMA, fue necesario sondear directamente a los operadores de los rellenos sanitarios, para obtener datos de actividad que no fueron obtenidos por fuentes secundarias como el SUI. Dicho ejercicio se realizó mediante una herramienta (Anexo 1. Encuesta Operadores Rellenos Sanitarios) aplicada con medios virtuales o entrevistas estructuradas. Parte de los resultados evidenciaron variaciones en los datos reportados por los operadores en el SUI vs la herramienta diseñada.

En congruencia con lo anterior, por la experiencia exitosa en la consecución de información para formulación de la NAMA, y para reducir la incertidumbre en el ejercicio de monitoreo, se recomienda que la Mesa Técnica MRV consolide, adapte y use dicha herramienta en las actividades del presente sistema MRV.

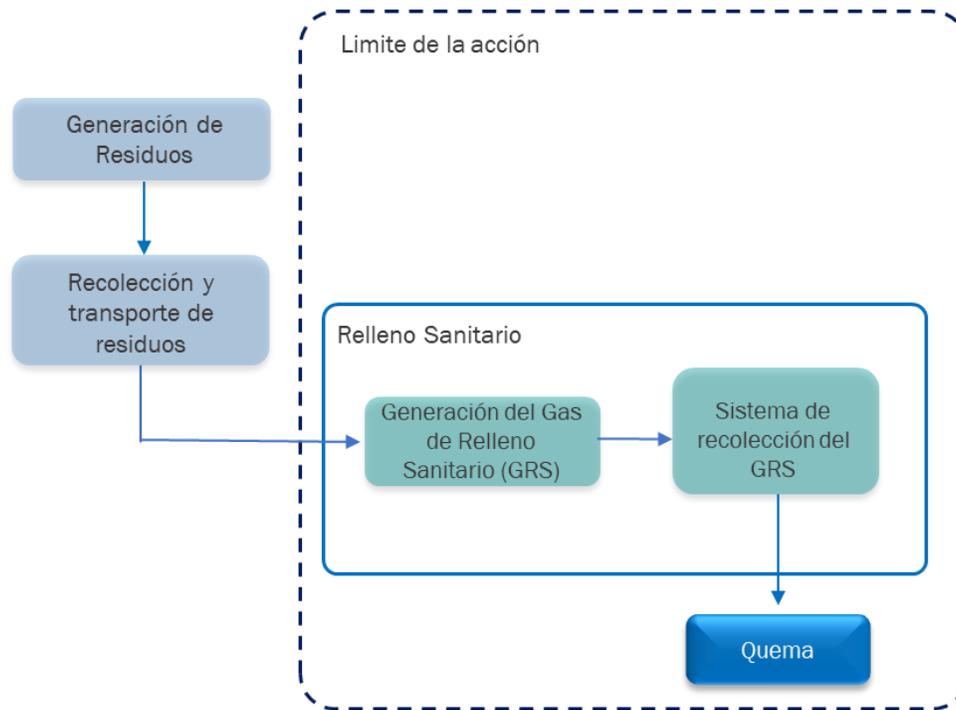
Estas

MRV para Acciones de la Línea estratégica 1: Mitigación de GEI para RSM ya dispuestos

Acorde al análisis de la sección 9, para esta línea estratégica de mitigación de GEI para residuos sólidos municipales ya dispuestos, se plantearon tres acciones: Reducción de Gases en Rellenos Sanitarios y Quema -RGV+Q-, recolección de gases de vertedero con quema y aprovechamiento energético de biogás -RGVQ+AE y optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente -OAEB-. A continuación, se detallan los indicadores para cada una de las acciones:

Acción No 1: RGV+Q Reducción de Gases en Rellenos Sanitarios y Quema

Figura 27: Delimitación de la acción de RGV + Q.



Fuente: Construcción propia

El objetivo de esta acción de mitigación es promover e implementar en los rellenos sanitarios, el sistema de recolección de los gases y su quema.

CODIGO	RGV+Q
MITIGACIÓN	Directa
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la edad o tiempo de disposición, la homogeneidad y la caracterización de los residuos dispuestos, por lo cual cada relleno tendrá su particular potencial de mitigación. La acción pretende además, incrementar la estabilidad del relleno y por ende aumentar la seguridad de su operación y minimizar el impacto ambiental sobre los alrededores del sitio de disposición.
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de disposición de los residuos. Etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo.
PRINCIPALES BARRERAS	Viabilidad financiera incierta, por los precios de los CERTs.
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Según el Decreto 1784 de 2017, todos los rellenos, para poder requerir modificación a licencias ambientales, deben tener este sistema de mitigación de gases efecto invernadero y se prioriza la implementación en los rellenos de mayor categoría.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización y exhortos de las autoridades ambientales al cumplimiento de la normatividad vigente.

Los indicadores identificados para realizar el MRV de esta acción de mitigación son los siguientes:

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	RGVQ1	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Rellenos Sanitarios con sistema de recolección de gases de relleno sanitario y su quema
	RGVQ2	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de metano quemado (respecto al flujo total capturado)
EMISIONES	RGVQ3	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones de metano por quema
CO-BENEFICIOS	RGVQ4	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento y control de olores invasivos
GESTION	RGVQ5	<ul style="list-style-type: none"> • No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de captura y quema de metano

A continuación, se detalla la descripción del método de cálculo, unidades, frecuencia y responsable de cada uno de los indicadores descritos anteriormente.

Indicadores de Actividad de RGVQ

Indicador	Rellenos Sanitarios con sistema de recolección de gases y su quema por RGV+Q
Código	RGVQ1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de Rellenos Sanitarios con Sistema de Recolección de Gases y Quema y se establece el porcentaje con respecto a los rellenos sanitarios de referencia.</p> $\%RRSS_{RGVQ} = \frac{No\ RRSS\ con\ SRGQ}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p> <p>$\%RRSS_{RGVQ}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Sistema de Recolección de Gas y Quema.</p> <p><i>No RRSS con SRGQ</i> = Número de Rellenos Sanitarios con Sistema de Recolección de Gas y Quema.</p> <p><i>No Total RRSS</i> = Número de Rellenos Sanitarios de Referencia</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios (Encuesta articulada con ANDESCO)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de la medida.
Frecuencia de medida	Anual con el registro de implementación de la acción
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación y/o seguimiento de la NAMA.

Indicador	Metano quemado por RGV+Q
Código	RGVQ2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de Metano
Descripción	<p>Mide las toneladas de metano quemado por la implementación de la acción RGV+Q y es igual a la cantidad total de gas (biogás) que entra al quemador multiplicado por el factor de emisión de metano quemado. Posteriormente se usa el factor de conversión para obtener kg de metano</p> $MQ_{RGVQ} = CG_{Entrada} \times FE_{Quemado} \times FC_{m3/t}$ <p>Donde:</p> <p>MQ_{RGVQ}: Metano Quemado por la Acción RGV+Q</p> <p>$CG_{Quemador}$: Total de gas que entra al quemador</p> <p>$FM_{Quemado}$: Factor de emisión de gas metano quemado</p> <p>$FC_{m3/t}$: Factor de conversión m3 a t</p> <p>Nota: Para el cálculo de reducción de emisiones se pasa este valor a tCO₂eq, multiplicándolo por el Potencial de Calentamiento Vigente o la Ecuación que lo sustituya.</p>
Método de medida	Medición directa sobre el medidor de flujo
Fuente	Consulta directa a operadores (Medidor del flujo de gas). Se debe diseñar el formato para la recolección de información.
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación, la eficiencia de la tecnología implementada para la quema y su calibración y los factores de emisión empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el Relleno Sanitario

Indicadores de Emisiones de RGVQ

Indicador	Reducción de Emisiones de Metano por RGV+Q
Código	RGVQ3
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	tCO _{2eq} /año
Descripción	<p>Mide la reducción de las emisiones función del tCO_{2eq}/año evitado por la quema de metano, producto de la implementación de la acción de mitigación RGV+Q.</p> $ERQ_{RGV+Q} = TEM_{LÍNEA BASE} - TEE_{RGV+Q}$ <p>Donde:</p> <p>ERQ_{RGV+Q} = Emisiones Reducidas por quema de la acción RGV+Q</p> <p>$TEM_{LÍNEA BASE}$ = Total de Emisiones por metano de la línea base.</p> <p>TEE_{RGV+Q} = Total de emisiones evitadas por la acción RGV+Q.</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Consulta directa a operadores (Registro directo de la quema de metano). Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación y/o seguimiento del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de RGVQ

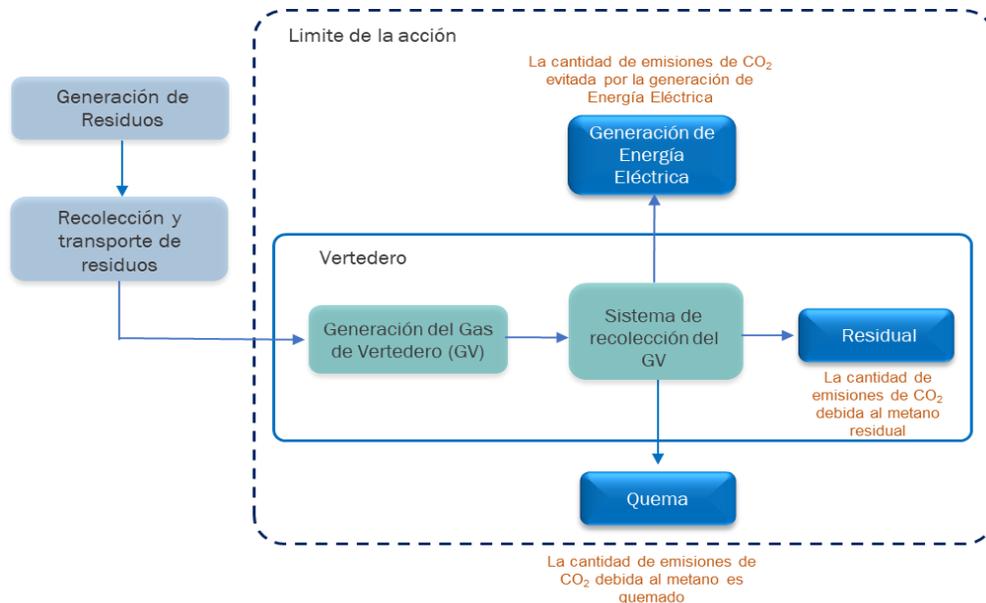
Indicador	Reducción de olores por RGVQ
Código	RGVQ4
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Porcentaje de Unidades de olor por m ³
Descripción	<p>Mide la reducción de olores, en unidades de porcentaje de olor, producto de la implementación de la acción de mitigación RGV+Q. Se sugiere que la medición de línea base se saque del promedio de las muestras realizadas el año inmediatamente anterior a la implementación de la medida.</p> $RPuO_{RGVQ} = PuO_{BASE} - PuO_{RGV+Q}$ <p>Donde:</p> <p>$RPuO_{RGVQ}$ = Reducción del porcentaje de Unidades de Olor</p> <p>PuO_{BASE} = Porcentaje de Unidades de Olor de Línea Base</p> <p>PuO_{RGV+Q} = Porcentaje de Unidades de Olor en el Tiempo de Implemenatación de la Acción.</p>
Método de medida	Directo usando el olfatómetro
Fuente	Consulta directa a operadores del RS. Se unificará el registro de datos mediante el diseño de un formato unificado.
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el relleno sanitario

Indicadores de Gestión de RGVQ

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de captura y quema de metano
Código	RGVQ5
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los rellenos sanitarios con sistemas de captura y quema de metano
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de las capacitaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual con el registro de implementación de la acción
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Acción No 2: RGVQ+AE. Reducción de Gases en Rellenos Sanitarios con quema de metano y aprovechamiento del Biogás.

Figura 28: Delimitación de la acción de RGV, quema y aprovechamiento Eléctrico



Fuente: Construcción propia

Fomentar e implementar el aprovechamiento del Biogás principalmente mediante la tecnología de generación eléctrica, para aquellos rellenos sanitarios que ya disponen de una infraestructura de recolección y quema.

CODIGO	RGVQAE
MITIGACIÓN	Directa e indirecta
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la edad y homogeneidad de los residuos dispuestos y de la composición del biogás captado. La acción pretende además de las ya expuestas para la RVG+Q, generar una mitigación indirecta por no consumo y si producción de energía eléctrica, además de una mitigación derivada de poner a disposición de la red eléctrica el excedente de energía (mitigación evitada).
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de disposición de los residuos y las etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo.
PRINCIPALES BARRERAS	Viabilidad financiera incierta, por los precios de los CERTs y los costos de las unidades de depuración requeridas para implementar el aprovechamiento. Precios del kWh generado, falta de incentivo expreso a este tipo de generación eléctrica. Viabilidad técnica, por el tiempo de captación del biogás, si aún se genera en cantidades suficientes para su explotación económica –fase biológica Metanogénica estable, 2 a 10 años después de haber dispuesto el residuo.

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Cantidad y caracterización del biogás generado en el relleno sanitario respectivo
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización.

Los indicadores identificados para realizar el MRV de esta acción de mitigación son los siguientes:

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	RGVQAE1	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Rellenos Sanitarios con sistema de recolección, quema y aprovechamiento eléctrico del metano
	RGVQAE2	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de metano quemado
	RGVQAE3	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de energía eléctrica generada
EMISIONES	RGVQAE4	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones metano por quema
	RGVQAE5	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones metano por el aprovechamiento eléctrico
CO-BENEFICIOS	RGVQAE6	<ul style="list-style-type: none"> • No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrica
	RGVQAE7	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento y control de olores invasivos
	RGVQAE8	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleos permanentes
GESTION	RGVQAE9	<ul style="list-style-type: none"> • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de captura, quema de metano y aprovechamiento eléctrico.

A continuación, se detalla la descripción del método de cálculo, unidades, frecuencia y responsable de cada uno de los indicadores descritos anteriormente.

Indicadores de Actividad de RGVQ+AE

Indicador	Rellenos Sanitarios con sistema de recolección, quema y aprovechamiento eléctrico del metano RGVQ+AE
Código	RGVQAE1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de Rellenos Sanitarios que aplican el sistema de recolección de metano, que es quemado y que tienen un aprovechamiento eléctrico y se establece el porcentaje con respecto a los rellenos sanitarios de referencia</p> $\%RRSS_{RGVQ+AE} = \frac{No\ RRSS\ con\ RAE}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p> <p>$\%RRSS_{RGVQ+AE}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Sistema de Recolección y Aprovechamiento Eléctrico.</p> <p><i>No RRSS con SRAE</i> = Número de Rellenos Sanitarios con Sistema de Recolección y Aprovechamiento Eléctrico.</p> <p><i>No Total RRSS</i> = Número Total de Rellenos de Referencia</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios (Recomendación Encuesta articulada con ANDESCO)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Metano recuperado y quemado por RGVQ+AE
Código	RGVQAE2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de metano
Descripción	<p>La cantidad de metano recuperado y quemado es igual a la cantidad total de gas recuperado que entra al quemador por el factor de emisión de metano quemado. Posteriormente se usa el factor de conversión para obtener kg de metano.</p> $MRQ_{RGVQ+AE} = CG_{Recuperado} \times FE_{Quemado} \times FC_{m3/t}$ <p>Donde:</p> <p>MRQ= Metano Recuperado y Quemado por la Acción RGVQ+AE.</p> <p>$CG_{Recuperado}$=Total de gas recuperado que entra al quemador</p> <p>$FE_{Quemado}$ = Factor de Emisión gas metano quemado.</p> <p>$FC_{m3/t}$= Factor de conversión metros cúbicos a toneladas</p> <p>Nota: Para el cálculo de reducción de emisiones se pasa este valor a tCO₂eq, multiplicándolo por el Potencial de Calentamiento Vigente o la Ecuación que lo sustituya.</p>
Método de medida	Directo medidor de flujo
Fuente	Consulta directa a operadores (Recomendación utilizar última caracterización de disponible biogás)
Incertidumbre	Asociada al método de toma de datos, a los instrumentos utilizados para la medición de las variables necesarias, al factor de emisión y la eficiencia de la tecnología empleada para la captura y quema.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operadores y Mesas Técnicas de Implementación y seguimiento de la NAMA

Indicador	Energía eléctrica generada por RGVQ+AE
Código	RGVQAE 3
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	KW/año
Descripción	<p>Es la cantidad de energía eléctrica generada por el metano quemado, este es calculado a través del medidor de KW/hora que se generan en el motor de generación .</p> $EG_{RGVQ+AE} = \frac{KW/hora}{m^3 \text{ de gas quemado}}$ <p>Donde:</p> <p>$EG_{RGVQ+AE}$ = Energía Generada por RGVQ+AE.</p> <p>$KW/hora$ = kilovatios por hora generados.</p> <p>$m^3 \text{ de gas quemado}$ = Metros cúbicos de gas quemado.</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Medición directa del medidor de flujo eléctrico y del medidor de flujo de gas aprovechado
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de generación de energía y las mesas técnicas de implementación y seguimiento de la NAMA

Indicadores de Emisiones de RGVQAE

Indicador	Reducción de Emisiones de Metano por RGVQ+AE
Código	RGVQAE4
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	CO ₂ eq/año
Descripción	<p>Mide la reducción en función de tCO₂eq/año evitado por la quema de metano, producto de la implementación de la acción de mitigación RGVQ+AE.</p> $ERQ_{RGVQ+AE} = TEM_{LÍNEA\ BASE} - TEE_{RGV+AE}$ <p>Donde:</p> <p>ERQ_{RGV+AE} = Emisiones Reducidas por quema de la acción RGVQ+AE</p> <p>$TEM_{LÍNEA\ BASE}$ = Total de Emisiones por metano de la línea base.</p> <p>TEE_{RGV+AE} = Total de emisiones evita por la acción RGV+Q. Se suma las tCO₂eq por quema y por generación de energía.</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Consulta directa del sistema de aprovechamiento. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Reducción de Emisiones por Aprovechamiento Eléctrico.
Código	RGVQAE5
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Toneladas de CO _{2eq}
Descripción	<p>Mide las emisiones evitas de tCO_{2eq}, en función del aprovechamiento eléctrico del metano producto de la generación energética de la planta AE la cual reemplaza la energía proveniente de la matriz del sistema interconectado. Se descuentan las emisiones propias del aprovechamiento eléctrico.</p> $ERA E_{RGVQ+AE} = (EG_{AE} \times FE_{MATRIZ}) - D_{AE}$ <p>Donde:</p> <p>$ERA E_{RGVQ+AE}$ = Emisiones Reducidas por Aprovechamiento Eléctrico de la Acción RGVQ+AE.</p> <p>E_{AE} = Energía de la planta de aprovechamiento energético.</p> <p>FE_{MATRIZ} = Factor de Emisión de la Matriz Energética.</p> <p>D_{AE} = Descuento por emisiones del proceso de aprovechamiento eléctrico</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro directo de la quema de metano y su conversión en emisiones. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de RGVQAE

Indicador	No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrico
Código	RGVQAE6
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No de hogares
Descripción	Se determina el número de hogares que se benefician del aprovechamiento eléctrico, a través de la generación de KW/hora dividido por el consumo promedio de un hogar tipo, correspondiente a la zona de cobertura del relleno sanitario
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a empresa comercializadora de la energía generada
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Reducción de olores por RGVQ +AE
Código	RGVQAE7
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Porcentaje de Unidades de olor por m ³
Descripción	Mide la reducción en unidades de porcentaje de olor producto de la implementación de la acción de mitigación RGV+Q. Se sugiere que la medición de línea base se saque del promedio de las muestras realizadas el año inmediatamente anterior a la implementación de la medida. $RPuO_{RGVQ+AE} = PuO_{BASE} - PuO_{RGVQ+AE}$ <p>Donde:</p>

	$RPuO_{RGVQ+AE}$ = Reducción del porcentaje de Unidades de Olor por la Acción RGVQ+AE PuO_{BASE} = Porcentaje de Unidades de Olor de Línea Base $PuO_{RGVQ+AE}$ = Porcentaje de Unidades de Olor en el Tiempo de Implementación de la Acción
Método de medida	Directo usando el olfatómetro
Fuente	Consulta directa a operadores
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el Relleno Sanitario

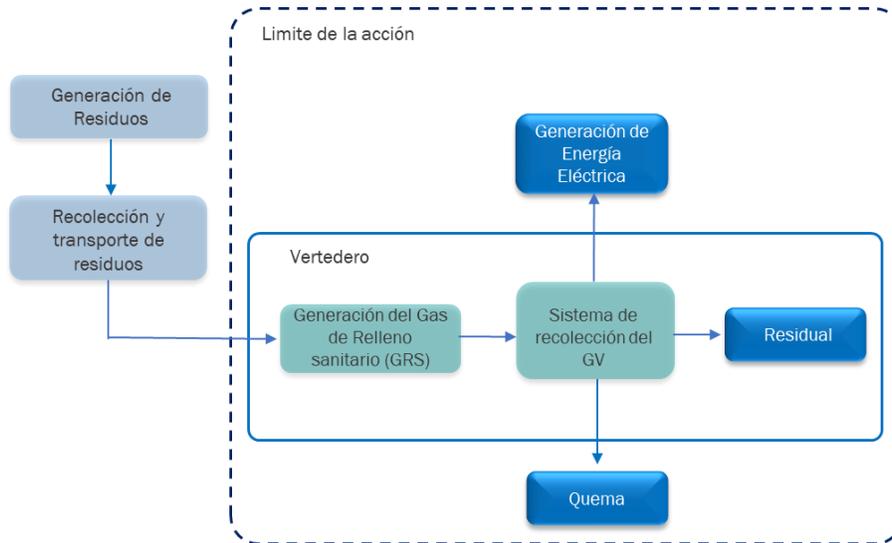
Indicador	Generación de empleos permanentes
Código	RGVQAE8
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No empleos
Descripción	Mide el número de empleos que se generan producto de la instalación y puesta en marcha para la generación eléctrica.
Método de medida	Directo
Fuente	Operador del sistema de aprovechamiento del biogás
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicadores de Gestión de RGVQAE

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de captura, quema y aprovechamiento eléctrico de Gas
Código	RGVQAE9
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los relleno sanitarios con sistemas de captura y quema de metano.
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del No de capacitaciones impartidas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Acción No 3: OAEB- Optimización del sistema de biogás captado existente.

Figura 29: Delimitación de la acción de Optimización del sistema de biogás captado existente



Fuente: Construcción Propia

Para aquellos rellenos sanitarios que ya poseen un sistema de aprovechamiento energético del biogás se propone realizar un diagnóstico y optimización del sistema de aprovechamiento, para que su capacidad de mitigación de GEI, sea mejorada y supere las posibles dificultades económicas de su explotación.

CÓDIGO	OAEB
MITIGACIÓN	Directa e indirecta y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la cantidad adicional de energía generada al implementar el sistema de optimización. La acción pretende, con base en un diagnóstico del sistema de aprovechamiento de biogás existente diversificar o ampliar la cantidad de biogás aprovechado y por ende la capacidad de generación eléctrica obtenida.
PROCESOS IMPLICADOS	Además del proceso de disposición de los residuos y las etapas de clausura y postclausura en la operación del relleno sanitario respectivo depende del sistema y procesos de aprovechamiento de biogás captado que se lleve actualmente.
PRINCIPALES BARRERAS	Precios del kWh generado, falta de incentivo expreso a este tipo de generación eléctrica. Eficiencia del aprovechamiento hasta ahora realizado.
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Es una acción propuesta para los rellenos que ya disponen de un sistema de aprovechamiento, tendrían prioridad aquellos rellenos donde el sistema sea más ineficiente o por alguna razón no se esté utilizando el aprovechamiento y este en sólo quema del biogás.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización.

Los indicadores identificados para realizar el MRV de esta acción de mitigación son los siguientes:

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	OAEB1	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de relleno sanitarios con sistema de recolección de GV, quema y aprovechamiento eléctrico
	OAEB2	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de metano quemado
	OAEB3	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de energía eléctrica generada
EMISIONES	OAEB4	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones metano por quema
	OAEB5	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones metano por aprovechamiento eléctrico
CO-BENEFICIOS	OAEB6	<ul style="list-style-type: none"> • No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrica
	OAEB7	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento y control de olores invasivos
	OAEB8	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleos permanentes
	OAEB9	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
GESTION	OAEB10	<ul style="list-style-type: none"> • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de captura, quema de metano y aprovechamiento eléctrico.
	OAEB11	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Energía Eléctrica adicional generada.

A continuación, se detalla la descripción del método de cálculo, unidades, frecuencia y responsable de cada uno de los indicadores descritos anteriormente.

Indicadores de Actividad de OAEB

Indicador	Rellenos Sanitarios con Optimización del Aprovechamiento Eléctrico
Código	OAEB1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de RS que aplican el sistema de recolección de metano, que es quemado y que tienen un aprovechamiento eléctrico que han sido optimizados, y se establece el porcentaje con respecto a los rellenos sanitarios de referencia</p> $\%RRSS_{OAEB} = \frac{No\ RRSS\ con\ OAEB}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p> <p>$\%RRSS_{OAEB}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Optimización del Aprovechamiento Eléctrico.</p> <p><i>No RRSS con OAE</i> = Número de Rellenos Sanitarios con Optimización del Aprovechamiento Eléctrico.</p> <p><i>No Total RRSS</i> = Total de Rellenos Sanitarios de Referencia.</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo a operadores de rellenos sanitarios
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de implementación y/o seguimiento del NAMA

Indicador	Metano recuperado y quemado por OAEB
Código	OAEB2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de metano
Descripción	<p>La cantidad de metano recuperado y quemado es igual a la cantidad total de gas recuperado que entra al quemador por el factor de emisión de metano quemado. Posteriormente se usa el factor de conversión para obtener kg de metano.</p> $MR_{OAEB} = CG_{Recuperado} \times FE_{Quemado} \times FC_{m3/t}$ <p>Donde:</p> <p>MR_{OAEB} = Metano Recuperado y Quemado por la acción OAEB.</p> <p>$CG_{Recuperado}$ = Total de gas recuperado que entra al quemador.</p> <p>$FE_{Quemado}$ = Factor de Emisión gas metano quemado.</p> <p>$FC_{m3/t}$ = Factor de conversión metros cúbicos a toneladas</p> <p>Nota: Para el cálculo de reducción de emisiones se pasa este valor a tCO₂eq, multiplicándolo por el Potencial de Calentamiento Vigente o la Ecuación que lo sustituya.</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Medición directa sobre el medidor de flujo. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y las tecnologías para la captura y quema.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el Relleno Sanitario

Indicador	Energía eléctrica generada por RGVQ+AE.
Código	OAEB3
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	KW/año
Descripción	<p>Es la cantidad de energía eléctrica generada por el metano quemado, este es calculado a través del medidor de KW/hora que se generan en el motor de generación después de que se ha optimizado.</p> $EG_{OAEB} = \frac{KW/hora}{m^3 \text{ de gas quemado}}$ <p>Donde:</p> <p>EG_{OAEB} = Kilovatios de Energía Generados por Optimización</p> <p>$KW/hora$ = kilovatios por hora generados.</p> <p>$m^3 \text{ de gas quemado}$ = Metros cúbicos de gas quemado</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Medición directa del medidor de flujo eléctrico y del medidor de flujo de gas quemado
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida y a los instrumentos tecnológicos para la captura de la información.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de generación de energía

Indicadores de Emisiones de OAEB

Indicador	Reducción de Emisiones de Metano por OAEB
Código	OAEB4
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	CO ₂ eq/año
Descripción	<p>Mide la reducción en función de tCO₂eq/año evitado por la quema de metano, producto de la implementación de la acción de mitigación OAEB.</p> $ERQ_{OAEB} = TEM_{LÍNEA\ BASE} - TEE_{OAEB}$ <p>Donde:</p> <p>ERQ_{OAEB} = Emisiones Reducidas por quema de la acción OAEB.</p> <p>$TEM_{LÍNEA\ BASE}$ = Total de Emisiones por metano de la línea base.</p> <p>TEE_{OAEB} = Total de emisiones evitas por la acción OAEB.</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro directo de la quema de metano y su conversión en emisiones. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Reducción de Emisiones por Aprovechamiento Eléctrico OAEB
Código	OAEB5
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO _{2eq} /año
Descripción	<p>Mide las emisiones evitas de tCO_{2eq}, en función del aprovechamiento eléctrico del metano producto de la generación energética de la planta AE la cual reemplaza la energía proveniente de la matriz del sistema interconectado. Se descuentan las emisiones del proceso de aprovechamiento eléctrico.</p> $ERA_{E_{OAEB}} = (EG_{AE} \times FE_{MATRIZ}) - D_{AE}$ <p>Donde:</p> <p>$ERA_{E_{OAEB}}$ = Emisiones Reducidas por Aprovechamiento Eléctrico de la Acción OAEB.</p> <p>EG_{AE} = Energía de la planta de aprovechamiento energético.</p> <p>FE_{MATRIZ} = Factor de Emisión de la Matriz Energética.</p> <p>D_{AE} = Descuento por emisiones del proceso de aprovechamiento eléctrico</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro directo de la quema de metano y su conversión en emisiones. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación y/o seguimiento del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de OAEB

Indicador	No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrico
Código	OAEB6
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No de hogares
Descripción	<p>Se determina el número de hogares que se benefician del aprovechamiento eléctrico, a través de la generación de KW/hora dividido por el consumo promedio de un hogar tipo, correspondiente a la zona de cobertura del relleno sanitario, que ha sido optimizado.</p> $HAE = \frac{GE}{CP_{Hogar\ tipo}}$ <p>Donde:</p> <p><i>HAE</i>: Número de Hogares Beneficiados con Aprovechamiento Energético</p> <p><i>GE</i>= Generación energética.</p> <p><i>CP_{Hogar tipo}</i> = Consumo Promedio Hogar Tipo</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Medición directa del no de hogares beneficiados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición de la medición del consumo promedio del hogar tipo
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Reducción de olores por OAEB
Código	OAEB7
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Porcentaje de Unidades de olor por m ³
Descripción	<p>Mide la reducción en unidades de porcentaje de olor producto de la implementación de la acción de mitigación OAEB. Se sugiere que la medición de línea base se saque del promedio de las muestras realizadas el año inmediatamente anterior a la implementación de la medida.</p> $RPuO_{OAEB} = PuO_{BASE} - PuO_{OAEB}$ <p>Donde:</p> <p>$RPuO_{AOEB}$ = Reducción del porcentaje de Unidades de Olor por la Acción OAEB</p> <p>PuO_{BASE} = Porcentaje de Unidades de Olor de Línea Base</p> <p>PuO_{OAEB} = Porcentaje de Unidades de Olor en el Tiempo de Implemenatación de la Acción</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Medición usando el olfatómetro
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el Relleno Sanitario

Indicador	Generación de empleos permanentes
Código	OAEB8
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No empleos
Descripción	Mide el número de empleos con ocasión de las labores necesarias para la implementación de la acción de mitigación.
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del no de empleo generados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
Código	QAEB9
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No Fortalecimientos
Descripción	Al implementar la iniciativa de aprovechamiento del biogás, se generan conocimientos, habilidades, destrezas y capacidades tanto del personal de gestión como operativo, estas capacidades aportan consistentemente en el incremento de la calidad de la prestación del servicio, así como transferencia del conocimiento a escala regional. Para su medición se usa Instrumento (encuesta) de gestión de conocimiento y generación de habilidades y competencias
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del no de fortalecimientos generados

Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicadores de Gestión de OAEB

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de captura, quema y aprovechamiento eléctrico de GV
Código	OAEB10
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los relleno sanitarios con sistemas de captura y quema de metano y con aprovechamiento eléctrico optimizado
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de las capacitaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

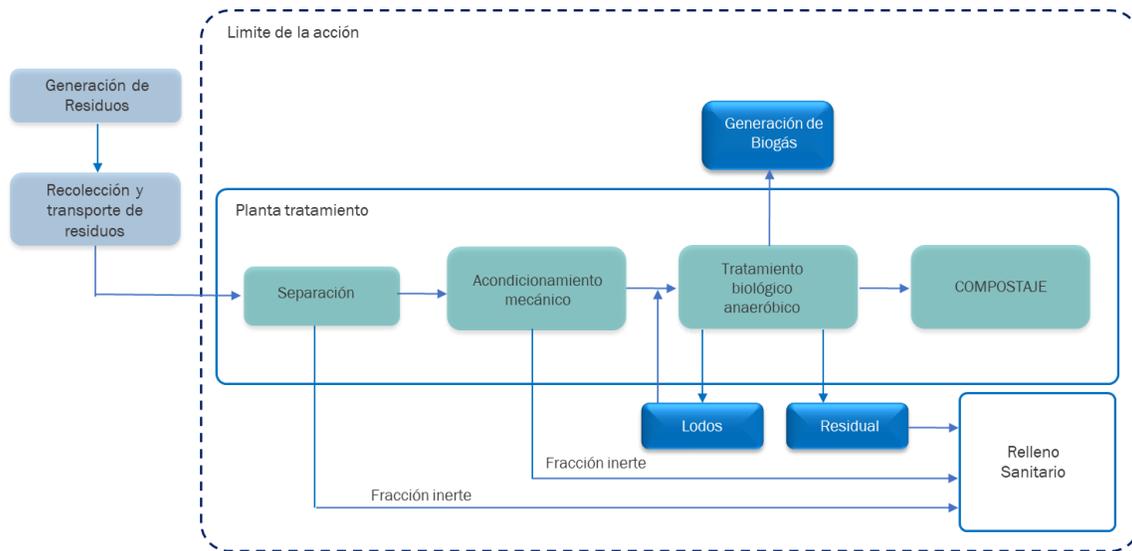
Indicador	Energía eléctrica adicional generada por OAEB
Código	OAEB11
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	KW/año
Descripción	<p>Mide el incremento en la generación de energía generada por el metano quemado, en función de la línea base de energía eléctrica generada por la planta existente producto de la implementación de la acción de mitigación OAEB.</p> $IEG_{OAEB} = EG_{T1} - EG_{BASE}$ <p>Donde:</p> <p>IEG_{AOAB}= Incremento de en la Energía Eléctrica Generada por OAEB</p> <p>EG_{T1}= Energía Generada en el tiempo 1 a n (posterior a la implementación de la acción)</p> <p>EG_{BASE}= Energía Eléctrica Generada de Línea Base</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Medidor de flujo de energía eléctrica
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el RS

MRV para Acciones de la Línea estratégica 2: Mitigación de GEI para RSM frescos que llegan a los sitios de disposición final

Como se analizó en la sección 9, para esta línea estratégica de mitigación de GEI para residuos sólidos municipales frescos que llegan a los sitios de disposición final, se plantearon tres acciones: Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje -TM+ OBC-, tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje -TM+BC- y Tratamiento térmico Waste to Energy o termovalorización -WtE-.

Acción No 4: TM+OBC. Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje

Figura 30: Delimitación de la acción de optimización TM y compostaje



Fuente: Construcción Propia

Mantener y fomentar los sistemas existentes de TM o separación en la fuente y tratamiento biológico con compostaje (Biomecanización)

CÓDIGO	TMOBC
MITIGACIÓN	Directa y evitada, con posibilidad de Indirecta.
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la eficiencia y eficacia en la separación del residuo de origen vegetal. La acción pretende además promover la siguiente etapa del tratamiento con la creación y fomento de mercados para el producto de la tecnología y lograr una mitigación indirecta por el reemplazo de un producto en el mercado (abono químico).
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de separación en la fuente de los RSM, proceso de recepción y separación de residuos de origen vegetal en el RS.
PRINCIPALES BARRERAS	Viabilidad financiera incierta, por los precios de los subproductos y los costos de las unidades de depuración requeridas para implementar el aprovechamiento energético.

	En el proceso biológico, elevada exigencia de la calidad del insumo, rigurosa clasificación del componente vegetal. Tiempo requerido para la obtención del producto y necesidad de áreas de almacenaje.
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	No Aplica.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización.

Los indicadores identificados para realizar el MRV de esta acción de mitigación son los siguientes:

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	TMOBC1	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de RS con tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje, optimizados
	TMOBC2	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de RSU procesados
	TMOBC3	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de compostaje generado
EMISIONES	TMOBC4	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de Emisiones de CO₂ por el TM y biocompostaje
CO-BENEFICIOS	TMOBC5	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de RSM que se dejan de disponer en el relleno sanitario por la acción de mitigación
	TMOBC6	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleos permanentes
	TMOBC7	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
GESTIÓN	TMOBC8	<ul style="list-style-type: none"> • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.

Indicadores de Actividad de TMOBC

Indicador	Rellenos Sanitarios con tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje Optimizados TM+OBC
Código	TMOBC1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de RRSS que aplican el sistema tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje optimizados y se establece el porcentaje con respecto a RS de referencia</p> $\%RRSS_{TM+OBC} = \frac{No\ RRSS\ con\ STMO}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p> <p>$\%RRSS_{TM+OBC}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Sistema de Tratamiento Mecánico Optimizado.</p> <p><i>No RRSS con STMO</i> = Número de rellenos sanitarios con Sistema de Tratamiento Mecánico Optimizado</p> <p><i>No Total RRSS</i> = Número de Rellenos Sanitarios de Referencia</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Residuos Sólidos Urbanos Frescos procesados por TM+OBC
Código	TMOBC2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Ton de RSU
Descripción	<p>La cantidad de residuos sólidos procesados en el proceso de biodigestión, por procesos de fermentación y de bacterias metanogénicas.</p> $tRSF_{TM+OBC}$ <p>Donde:</p> $tRSF_{TM+OBC} = \text{Toneladas de Residuos Sólidos Frescos Procesados por TM+OBC}$
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios del peso de Residuos Sólidos que entran al RS y son procesados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el relleno sanitario

Indicador	Compostaje generado por TM+OBC
Código	TMOBC3
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas
Descripción	<p>Es la cantidad de compost generado en el proceso de descomposición controlada de residuos de origen orgánico y que sirve para fertilizante para mejorar los suelos.</p> tCG_{TM+OBC} <p>Donde:</p> $tCG_{TM+OBC} = \text{Toneladas de Compostaje Generado por TM+OBC}$

Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios del peso del compost que es obtenido al final del proceso
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema en el relleno sanitario

Indicadores de Emisiones de TMOBC

Indicador	Reducción de Emisiones por la Optimización del TM y biocompostaje
Código	TMOBC4
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO _{2eq} /año
Descripción	<p>Mide la reducción de las emisiones en tCO_{2eq} en función de la reducción que genera el tratamiento mecánico y biocompostaje respecto a las emisiones de residuos sin tratamiento. Se debe tener en cuenta que la generación de compostaje tiene unas emisiones propias del proceso.</p> $ER_{TM+OBC} = EI_{RESIDUOS} - ES_{COMPOST}$ <p>Donde:</p> <p>ER_{TM+OBC} = Emisiones Reducidas por TM+OBC</p> <p>$EI_{RESIDUOS}$ = Emisiones de Residuos que Ingresan al Proceso</p> <p>$ES_{COMPOST}$ = Emisiones del Compost que Sale del Proceso</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta al operador del registro directo de compostaje. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6).

Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de TMOBC

Indicador	Disposición final de RSM evitada por TM+OBC
Código	TMOBC5
Tipo de Indicador	Indicador de Co-beneficios
Unidades	Toneladas de residuos
Descripción	La cantidad RSU que dispondrían en el relleno sanitario si no fueran procesados en la biodigestión. Se hace el registro directo de toneladas de RS procesados en el TM
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta del operador del peso de Residuos Sólidos que entran al proceso de TM y son procesados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Generación de empleos permanentes
Código	TMOBC6
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No empleos
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento mecánico y de biocompostage, se requiere hacer una instalación para estos tratamientos de los residuos orgánicos, y allí se requieren personas que operen y controlen estas instalaciones
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del no de empleo generados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
Código	TMOBC7
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No de fortalecimientos
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento mecánico y de biocompostage, se generan conocimientos, habilidades, destrezas y capacidades tanto del personal de gestión como operativo, estas capacidades aportan consistentemente en el incremento de la calidad de la prestación del servicio, así como transferencia del conocimiento a escala regional, Para su medición se usa Instrumento (encuesta) de gestión de conocimiento y generación de habilidades y competencias
Método de medida	Indirecto

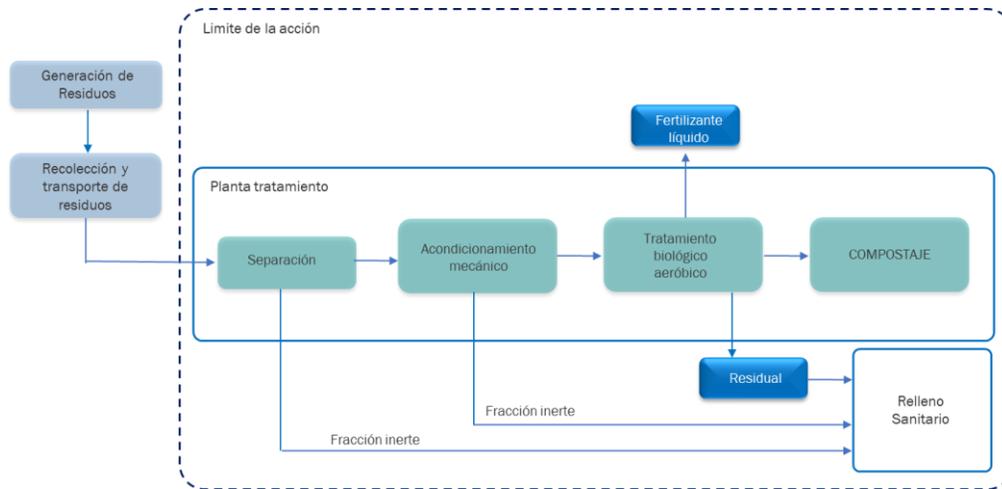
Fuente	Registro directo del no de fortalecimientos generados a través del instrumento (encuesta)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicadores de Gestión de TMOBC

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.
Código	TMOBC8
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los relleno sanitarios con sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de las capacitaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Acción No 5: TM + BC. Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje

Figura 31: Delimitación de la acción de TM y tratamiento biológico aeróbico



Fuente: Construcción Propia

Mantener y promover los sistemas existentes de Tratamiento Mecánico o separación en la fuente más compostaje a través de tratamiento biológico aeróbico

CÓDIGO	TMBC
MITIGACIÓN	Directa y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende de la eficiencia y eficacia en la separación del residuo de origen vegetal. La acción pretende además promover la creación y fomento de mercados para el producto de la tecnología Humus, compost, fertilizante orgánico.
PROCESOS IMPLICADOS	Proceso de separación en la fuente de los RSM, ruta selectiva para la recolección y transporte a planta de tratamiento, proceso de recepción y separación de Residuos de origen vegetal en el RS.
PRINCIPALES BARRERAS	El proceso biológico es de elevada exigencia en la calidad y homogeneidad del insumo, rigurosa clasificación del componente vegetal. Para grandes cantidades de residuos se obtiene por correlación directa elevadas cantidades de producto –compost- que requiere a su vez grandes áreas de almacenamiento y mercado asegurado de consumo. La ubicación de las plantas debe estar cerca a los usuarios potenciales, de lo contrario los costos de transporte lo puede volver inviable.
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Regiones de fácil mercadeo de los productos obtenidos en la aplicación tecnológica. Sitios de disposición final que hayan implementado la acción de mitigación, para su optimización.

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	TMBC1	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de relleno sanitarios con sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje
	TMBC2	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de compostaje generado
	TMBC3	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de RSU procesado
	TMBC4	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de fertilizante líquido generado
EMISIONES	TMBC5	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de Emisiones de CO₂ por el TM o separación en fuente con tratamiento biológico aeróbico y compostaje.
CO-BENEFICIOS	TMBC6	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de RSM que se dejan de disponer en el relleno sanitario por la acción de mitigación
	TMBC7	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleos permanentes
	TMBC8	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
GESTIÓN	TMBC9	<ul style="list-style-type: none"> • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aeróbico y compostaje.
	TMBC10	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de Emisiones generadas por el reciclaje de los desechos sólidos (metales y escorias)

Indicadores de Actividad de TMBC

Indicador	Rellenos Sanitarios con sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio y compostaje.
Código	TMBC1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de RRSS que aplican el sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio y compostaje y se establece el porcentaje con respecto a los RRSS de referencia.</p> $\%RRSS_{TM+BC} = \frac{No\ RRSS\ con\ STMBC}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p>

	$\%RSS_{TM+BC}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Sistema de Tratamiento Biológico y Compostaje. <i>No RRSS con STMBC</i> = Número de Rellenos Sanitarios con Sistema de Tratamiento Biológico y Compostaje. <i>No Total RRSS</i> = Número Total de Rellenos de Referencia
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de los rellenos sanitarios
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Compostaje generado por TM+BC y Certificado
Código	TMBC2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de compostaje
Descripción	<p>Es la cantidad de compost generado en el proceso de descomposición controlada de residuos de origen orgánico y que sirve para fertilizante para el mejoramiento de los suelos. Este compost debe ser certificado</p> $tCGC_{TM+BC}$ <p>Donde:</p> $tCGC_{TM+BC}$ = Toneladas de Compostaje Generado y Certificado por TM+BC
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa a rellenos sanitarios del peso del compost que es obtenido al final del proceso
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida

Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de tratamiento

Indicador	Residuos Sólidos Urbanos Frescos procesados por TM+BC
Código	TMBC3
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de RS
Descripción	<p>La cantidad de residuos sólidos procesados en el tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje.</p> $tRSF_{TMBC}$ <p>Donde:</p> <p>$tRSF_{TMBC}$ = Toneladas de Residuos Sólidos Frescos Procesados por TMBC</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta al operador del registro directo del peso de Residuos Sólidos que entran y son procesados
Incertidumbre	Asociada a la medición y toma de datos, así como los instrumentos empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de los RS

Indicador	Fertilizante líquido generado por TM+BC
Código	TMBC4
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas de fertilizante líquido

Descripción	<p>Es la cantidad de fertilizante líquido generado en el proceso de descomposición controlada de residuos de origen orgánico y que sirve para fertilizante y el mejoramiento de los suelos.</p> tFL_{TMBC} <p>Donde:</p> <p>tFL_{TMBC} = Toneladas de Fertilizante Líquido Generado por TM+OBC</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta al operador del registro directo del peso/volumen del fertilizante líquido que es obtenido al final del proceso
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de tratamiento

Indicadores de Emisiones de TMBC

Indicador	Reducción de Emisiones por el TM con tratamiento biológico aeróbico y compostaje.
Código	TMBC5
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO _{2eq} /año
Descripción	<p>Mide la reducción de las emisiones en tCO_{2eq} en función de la reducción que genera el tratamiento mecánico y biocompostaje respecto a la línea base de emisiones de residuos sin tratamiento. Se debe tener en cuenta que la generación de compostaje tiene unas emisiones propias del proceso.</p> $ER_{TMBC} = EI_{RESIDUOS} - ES_{COMPOST}$ <p>Donde:</p> <p>ER_{TM+BC} = Emisiones Reducidas por TM+BC</p> <p>$EI_{RESIDUOS}$ = Emisiones de Residuos que Ingresan al Proceso</p> <p>$ES_{COMPOST}$ = Emisiones del Compost que Sale del Proceso</p>

Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro directo de compostaje obtenido y su conversión en emisiones. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6).
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de TMBC

Indicador	Disposición final de RSM evitada por TM+BC
Código	TMBC6
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Toneladas de residuos
Descripción	Mide las toneladas de residuos sólidos municipales que se dejan de disponer en el relleno sanitario por la acción de mitigación toda vez que no serían procesados por el tratamiento biológico aeróbico y de compostaje.
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta del registro del relleno sanitario del Peso de Residuos Sólidos que entran al TB y son procesados
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	Operador responsable del sistema de tratamiento

Indicador	Generación de empleos permanentes
Código	TMBC7
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No empleos
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje, se requiere hacer una instalación para estos tratamientos de los residuos orgánicos, y allí se requieren personas que operen y controlen estas instalaciones
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del No empleados generados en el sistema de gestión del RS
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación
Frecuencia de medida	Anual con el registro de implementación de la acción
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
Código	TMBC8
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No fortalecimientos
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento biológico aeróbico y de biocompostaje, se generan conocimientos, habilidades, destrezas y capacidades tanto del personal de gestión como operativo, estas capacidades aportan consistentemente en el incremento de la calidad de la prestación del servicio, así como transferencia del conocimiento a escala regional. Para su medición se usa Instrumento (encuesta) de gestión de conocimiento y generación de habilidades y competencias
Método de medida	Directo

Fuente	Registro directo del no de fortalecimientos generados a través del instrumento (encuesta)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento de la NAMA.

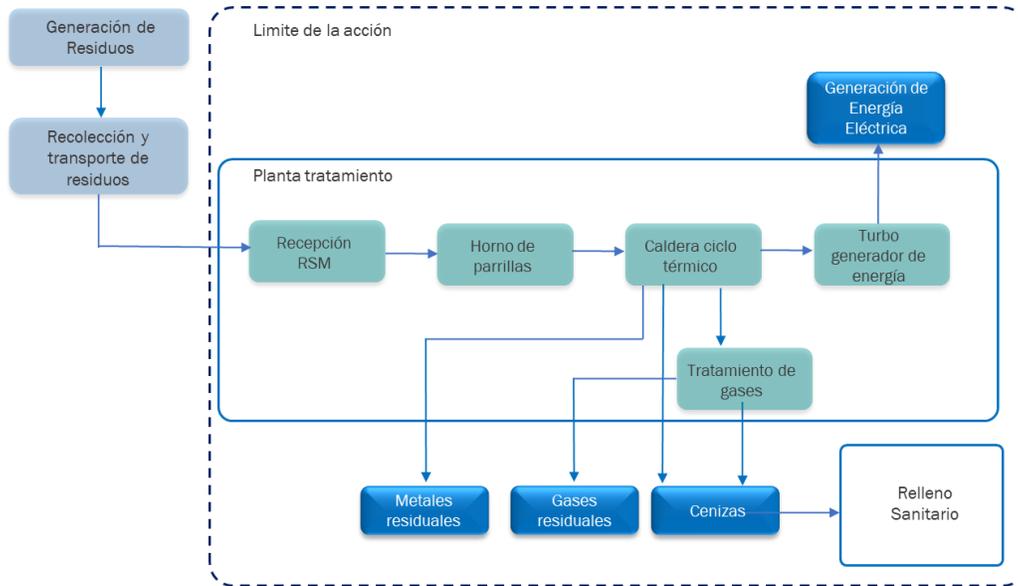
Indicadores de Gestión de TMBC

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje.
Código	TMBC9
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los rellenos sanitarios con sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje.
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de las capacitaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Reducción de Emisiones por el reciclaje de los desechos sólidos (metales y escorias)
Código	TMBC10
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO ₂ /año
Descripción	<p>Mide la reducción de las emisiones en tCO₂eq en función de la reducción que genera el reciclaje de desechos sólidos respecto a su factor de emisión. Se debe tener en cuenta que el reciclaje de desechos sólidos tiene unas emisiones propias del proceso</p> $ER_{DS} = EI_{RESIDUOS\ RECICLAJE} - EP_{RECICLAJE}$ <p>Donde:</p> <p>ER_{DS}= Emisiones Reducidas por Reciclaje</p> <p>$EI_{RESIDUOS}$= Emisiones de los Residuos que ingresan al proceso de reciclaje</p> <p>EP= Emisiones del proceso de Reciclaje.</p>
Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro de compostaje obtenido y su conversión en emisiones
Incertidumbre	Asociada a los factores de emisión empleados y las tecnologías empleadas para el reciclaje de desechos sólidos
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Acción No 6: WtE. Tratamiento térmico WtE (termovalorización eléctrica)

Figura 32: Delimitación de la acción Tratamiento térmico WtE



Fuente: Construcción Propia

Fomentar y promover la implementación de plantas de aprovechamiento térmico-energético de los RSM como alternativa y complemento a los rellenos sanitarios.

CÓDIGO	WTE
MITIGACIÓN	Directa, indirecta y evitada
POTENCIAL DE MITIGACIÓN	El potencial de mitigación depende principalmente de la caracterización físico química de los residuos. Básicamente Poder calorífico inferior (Mj/kg) y porcentaje de humedad relativa. La cantidad de residuos que llegan a los rellenos de gran capacidad, la característica de recibir el residuo mezclado, la eliminación de la generación de metano, y de lixiviados, el tiempo que dura el tratamiento, y la opción de generar significativas cantidades de energía eléctrica (kWh) elevan su potencial de mitigación de CO2eq tanto por mitigación indirecta como por mitigación evitada.
PROCESOS IMPLICADOS	El proceso de disposición final se reduce a la cantidad de rechazo de la planta de Termovalorización, -cenizas-, lo cual aumenta la vida útil de los sitios de disposición final y los hace más amigables con el ambiente al sólo disponer residuos inertes, ya tratados.
PRINCIPALES BARRERAS	Los costos de inversión y operación son elevados, se requiere una buena capacidad financiera. Prejuicios de ambientalistas con la tecnología.

	<p>No está el propósito establecido explícitamente en los diferentes municipios en los planes de ordenamiento territorial y en los Planes de Gestión integral de residuos sólidos urbanos,</p> <p>Falta de incentivos al valor del kWh generado mediante esta tecnología.</p>
CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	Categoría del relleno sanitario (decreto 1784 de 2017) a mayor categoría, mayor prioridad. Vida útil licenciada vencida o próxima a vencerse del sitio de disposición final.
RECURSOS DE APOYO	Capacitación, divulgación, sensibilización.

Tipo de Indicador	Código	Descripción del indicador
ACTIVIDAD	WTE1	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje Relleno Sanitario con sistema de tratamiento térmico WtE (Termovaloración Eléctrica)
	WTE2	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de energía eléctrica generada
	WTE3	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de residuos procesados
	WTE4	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de cenizas generadas
	WTE5	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de residuos de metales reciclados
	WTE6	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de escoria recuperada
EMISIONES	WTE7	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de emisiones de CO₂ obtenidas por el sistema de tratamiento térmico WtE
	WTE8	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de emisiones de CO₂ obtenidas por el aprovechamiento eléctrico
CO-BENEFICIOS	WTE9	<ul style="list-style-type: none"> Generación de empleos permanentes
	WTE10	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
	WTE11	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de la formación (técnica / profesional) de los trabajadores internos
	WTE12	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de costos por generación de energía al interior del relleno
	WTE13	<ul style="list-style-type: none"> No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento térmico WtE implementadas.
GESTIÓN	WTE14	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje Relleno Sanitario con sistema de tratamiento térmico WtE (Termovaloración Eléctrica)

Indicadores de Actividad de WTE

Indicador	Rellenos Sanitarios con sistema de tratamiento térmico WtE.
Código	WTE1
Tipo de Indicador	Indicador de actividad
Unidades	%
Descripción	<p>Se determina el número de RRSS que aplican el sistema de tratamiento térmico y se establece el porcentaje con respecto a los RS de referencia.</p> $\%RRSS_{WTE} = \frac{No\ RRSS\ con\ WTE}{No\ Total\ RRSS} \times 100\%$ <p>Donde:</p> <p>$\%RRSS_{WTE}$ = Porcentaje de Rellenos Sanitarios con Sistema WtE</p> <p><i>No RRSS con WTE</i> = Número de rellenos sanitarios con Sistema WtE</p> <p><i>No Total RRSS</i> = Número de Rellenos Sanitarios de Referencia</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa operadores
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Energía eléctrica generada por WtE
Código	WTE2
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	kWh/año
Descripción	Es la cantidad de energía eléctrica generada por la implementación del sistema de tratamiento térmico WtE (Termovaloración Eléctrica).
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta del operador de la planta de generación (Medidor de flujo de energía eléctrica)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Residuos Sólidos Urbanos procesados en el sistema WtE
Código	WTE3
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas
Descripción	Es la cantidad de residuos que son procesados en la planta de tratamiento térmico (Termovaloración Eléctrica). $tRSU_{WtE}$ <p>Donde:</p> $tRSU_{WtE} = \text{Toneladas de Residuos Sólidos Urbanos tratados por WtE}$
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta a operador de la planta de tratamiento térmico

Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Cenizas generadas por el Sistema WtE
Código	WTE4
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas
Descripción	Es la cantidad de cenizas generadas por la combustión de los residuos sólidos en el proceso térmico.
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta a operador de la planta de tratamiento térmico
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Metales reciclados en el sistema WtE
Código	WTE5
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas
Descripción	Es la cantidad de metales reciclados separados de las escorias obtenidas en el tratamiento térmico. Estos son separados en metales ferrosos y no ferrosos, subproductos utilizados como materia prima de otros procesos industriales.

	$tM_{RECICLADOS}$
	Donde: $tM_{RECICLADOS}$ = Toneladas de Metales Recicladas
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta a operador de la planta de tratamiento térmico
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

Indicador	Escorias recuperadas por el sistema WtE
Código	WTE6
Tipo de Indicador	Indicador de Actividad
Unidades	Toneladas
Descripción	Es la cantidad de escorias obtenidas como subproducto del tratamiento térmico y que puede ser usada como grava o arena, o aplicada como capa de un relleno sanitario. $tE_{RECUPERADAS}$ Donde: $tE_{RECUPERADAS}$ = Toneladas de Escorias Recuperadas
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta a operador de la planta de tratamiento
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicadores de Emisiones de WtE

Indicador	Reducción de emisiones por la implementación del sistema de tratamiento térmico WtE
Código	WTE7
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO ₂ /año
Descripción	<p>Mide la reducción de las emisiones en tCO₂eq en función de la reducción que genera el tratamiento térmico y se compara con las emisiones que se generarían si no se procesaran y con esta se hallan las emisiones que se evitan por el tratamiento térmico WtE.</p> $ER_{WtE} = EI_{RESIDUOS} - EP_{WTE}$ <p>Donde:</p> <p>ER_{WTE} = Emisiones Reducidas por WTE</p> <p>$EI_{RESIDUOS}$ = Emisiones de los residuos que Ingresa al Proceso WTE</p> <p>EP_{WTE} = Emisiones del procesos WtE</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa al operador. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Reducción de Emisiones por Aprovechamiento Eléctrico WtE
Código	WTE8
Tipo de Indicador	Indicador de Emisiones
Unidades	Ton de CO _{2eq} /año
Descripción	<p>Mide las emisiones evitas de tCO_{2eq}, en función del aprovechamiento eléctrico producto de la generación energética de la planta WtE la cual reemplaza la energía proveniente de la matriz del sistema interconectado. Se descuentan las emisiones generadas propias del proceso WTE.</p> $ERAE_{WTE} = (EG_{WTE} \times FE_{MATRIZ}) - D_{WTE}$ <p>Donde:</p> <p>$ERAE_{WTE}$ = Emisiones Reducidas por Aprovechamiento Eléctrico de la Acción WTE.</p> <p>EG_{WTE} = Energía generada por el tratamiento WtE.</p> <p>FE_{MATRIZ} = Factor de Emisión de la Matriz Energética.</p> <p>D_{WTE} = Descuento por emisiones generadas en el proceso WTE.</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta al operador de la planta de generación eléctrica. Se propone el uso de la herramienta de cálculo diseñado para el modelo de emisiones de la NAMA RSM (Anexo 6)
Incertidumbre	Asociada a los instrumentos de medición de las variables y a la toma de los datos, a la incertidumbre de los factores de emisión y los potenciales de calentamiento empleados.
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicadores de Co-beneficios de WTE

Indicador	Disposición final de RSM evitada por WtE
Código	WTE9
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Toneladas de residuos
Descripción	Mide las toneladas de Residuos Sólidos Municipales que se dejan de disponer en los rellenos sanitarios por el proceso de tratamiento eléctrico WtE.
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta al operador del RS
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Seguimiento del NAMA

Indicador	Generación de empleos permanentes
Código	WTE10
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No empleos
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento térmico, se requiere hacer una instalación para procesamiento térmico de los residuos sólidos, y allí se requieren personas que operen y controlen estas instalaciones
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del No empleados generados en el sistema de gestión del RS
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida

Frecuencia de medida	Anual con el registro de implementación de la acción
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas
Código	WTE11
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No fortalecimiento
Descripción	Al implementar la iniciativa de tratamiento térmico, se generan conocimientos, habilidades, destrezas y capacidades tanto del personal de gestión como operativo, estas capacidades aportan consistentemente en el incremento de la calidad de la prestación del servicio, así como transferencia del conocimiento a escala regional. Para su medición se usa Instrumento (encuesta) de gestión de conocimiento y generación de habilidades y competencias
Método de medida	Indirecto
Fuente	Registro directo del no de fortalecimientos generados a través del instrumento (encuesta)
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Incremento de la formación (técnica/profesional) de los trabajadores internos
Código	WTE12
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	No Formaciones

Descripción	El tratamiento térmico de residuos sólidos utiliza operaciones altamente complejas de algunas tecnologías complementarias a la disposición final de residuos, esto requieren que el personal de gestión y de operación deban tener formaciones técnicas especializadas, esto requiere que las personas deban tener esta formación técnica especializada
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo del no de formaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Indicador	Reducción de costos por generación de energía al interior de la planta de tratamiento
Código	WTE13
Tipo de Indicador	Indicador de co-beneficios
Unidades	Millones pesos
Descripción	<p>Mide la alimentación endógena del sistema de tratamiento. En ese sentido, el indicador traduce esta alimentación en costos evitados por consumo de energía eléctrica.</p> $RCEI_{WtE} = CE_{sin\ generaci3n} - CE_{con\ generaci3n}$ <p>Donde:</p> <p>$RCEI_{WtE}$ = Reducción de Costos por Consumo de Energía Eléctrica Interna.</p> <p>$CE_{sin\ generaci3n}$ = Costos Energía Eléctrica Sin Consumo Interno</p> <p>$CE_{con\ generaci3n}$ = Costos Energía Eléctrica con Consumo Interno</p>
Método de medida	Directo
Fuente	Consulta directa de los operadores de la planta de generación de energía y de tratamiento térmico.

Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de seguimiento del NAMA

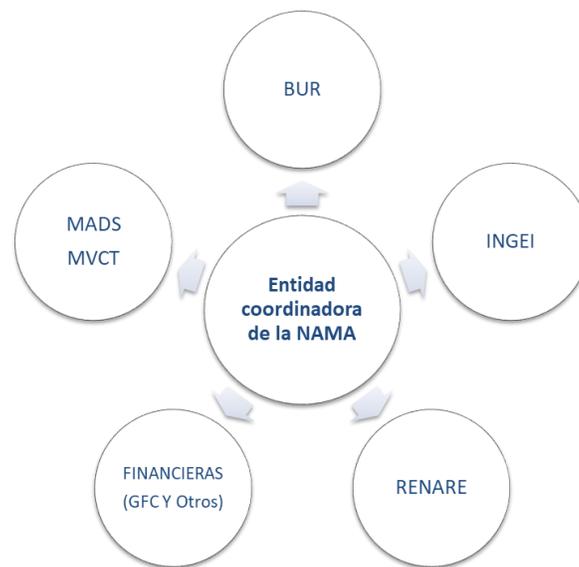
Indicadores de Gestión de WTE

Indicador	No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del tratamiento térmico WtE (termovaloración Eléctrica).
Código	WTE14
Tipo de Indicador	Indicador de Gestión
Unidades	No de capacitaciones
Descripción	Se determina el número de capacitaciones realizadas a los responsables y operadores de los Rellenos Sanitarios con sistema de tratamiento térmico de residuos sólidos.
Método de medida	Directo
Fuente	Registro directo de las capacitaciones realizadas
Incertidumbre	Asociada al observador que hace el seguimiento de la implementación de la acción de mitigación. La incertidumbre es la generada por la medición directa de medida
Frecuencia de medida	Anual
Responsable	La Mesa Técnica de Implementación del NAMA

Reporte

El reporte se considera como las “salidas” del sistema MRV, es decir, la presentación de la información consolidada y analizada que tiene como propósito comunicar sobre las acciones de mitigación. Las actividades enmarcadas en esta etapa están dirigidas hacia la identificación y caracterización de los reportes para cada uno de sus componentes y deberán modificarse y generarse según los requerimientos y solicitudes a nivel nacional e internacional. Un aspecto fundamental en el diseño de los reportes es definir la audiencia a quien van dirigidos. La Figura 33 muestra las principales entidades receptoras de reportes del sistema MRV.

Figura 33: Audiencias receptoras de reportes del sistema MRV



Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las anteriores audiencias requieren información diferente y con frecuencias distintas. Por ello se han diseñado tres tipos de reportes que se generarán con regularidad durante la implementación de la NAMA: Reporte de Gestión -RG-, Reporte de financiamiento -RF-, Reporte de emisiones -RE-. La elaboración de estos reportes estará a cargo de la mesa coordinadora de la NAMA, y previa a su publicación o entrega a alguna audiencia serán validados en sesión del comité de gestión de la NAMA

A continuación, se describen cada uno de los tipos de reporte, detallando el contenido, indicadores, frecuencia en que se deben generar, la audiencia a quien va dirigida y los procesos de revisión y control de calidad.

TIPO	REPORTE DE GESTIÓN
CÓDIGO	RG
CONTENIDO	Datos básicos: Nombre del proyecto, sector, Entidad proponente, Alcance.

	Indicadores de gestión
FRECUENCIA	Anual
AUDIENCIA	MADS, MVCT.

TIPO	REPORTE DE FINANCIAMIENTO
CÓDIGO	RF
CONTENIDO	Datos básicos: Nombre del proyecto, sector, Entidad proponente, Alcance. Indicadores de gestión Indicadores financieros
FRECUENCIA	Anual
AUDIENCIA	Entidades financiadoras

TIPO	REPORTE DE EMISIONES
CÓDIGO	RE
CONTENIDO	Datos básicos: Nombre del proyecto, sector, Entidad proponente, Alcance. Indicadores de emisiones Indicadores de co-beneficio
FRECUENCIA	Anual
AUDIENCIA	INGEI, RENARE, BUR

Los aspectos relacionados con el financiamiento serán suministrados a la plataforma digital del Sistema MRV de Financiamiento Climático en cabeza del -DNP- y deberá estar alineado con las plataformas VITAL, SINERGIA y otras que generen indicadores de cambio climático. El reporte implicará presentar la información previamente medida de manera accesible y deberá incluir elementos generales que describan las definiciones y metodología utilizadas para la medición, el alcance de la información, usabilidad y accesibilidad de la información, entre otros elementos que faciliten su comprensión.

El proceso de generación de reportes está diseñado para que puedan ser gestionados de manera que se haga seguimiento del proyecto y brinde información para la toma de decisiones. Los registros del

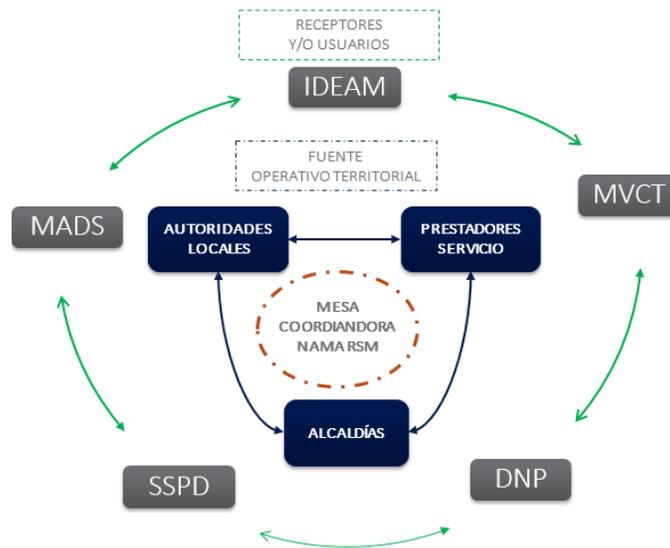
MRV pueden ser gestionados a través de un cuadro de control, el cual permite integrar los indicadores del MRV y debe estar relacionado con los indicadores financieros que están en el centro del cuadro de control.

Se colige de lo expresado en el presente capítulo que el correcto funcionamiento del Sistema MRV está ligado directamente al registro (herramientas de entrada del sistema y sistematización) y el flujo de información (¿Quién la toma? ¿Quién la recibe? ¿Quién la reporta?). En este sentido, acorde al Documento Nacional del Sistema MRV dos son los aspectos que, para cumplir con los Principios de Contabilidad de Emisiones GEI, se deben tener en cuenta en el marco de la NAMA RSM:

Aspectos técnicos institucionales: se destacan dos grupos de instituciones: aquellas que intervienen como receptoras de la información y aquellas que intervienen como fuente de la información. Interinstitucionalmente se deben armonizar las herramientas de captura y sistematización de información en función de las necesidades específicas de la NAMA RSM para el grupo de instituciones que intervienen como receptores de la información y brindan apoyo para el reporte Nacional. Por otra parte, las instituciones fuente de la información, donde intervienen las autoridades locales, regionales y locales, incluyendo las privadas o gremiales (prestadores del servicio), deberán estar alineadas a los requerimientos establecidos para la captura y registro de la información.

Aspectos operativos territoriales: se deben garantizar la transferencia o fortalecimiento de capacidades para la captura y registro y el flujo de la información desde el nivel de implementación local, entendida como el área geográfica donde sucede la acción y sus actores (prestadores del servicio, alcaldías, entre otros), hasta el nivel de usuarios de la información que pueden tener ámbitos locales (Alcaldías), regionales (Autoridades Ambientales), nacionales (RENARE) o internacionales (CMNUCC). La Figura 34 muestra el flujo de información que se espera a nivel de los receptores institucionales y la fuente operativa territorial para la NAMA RSM.

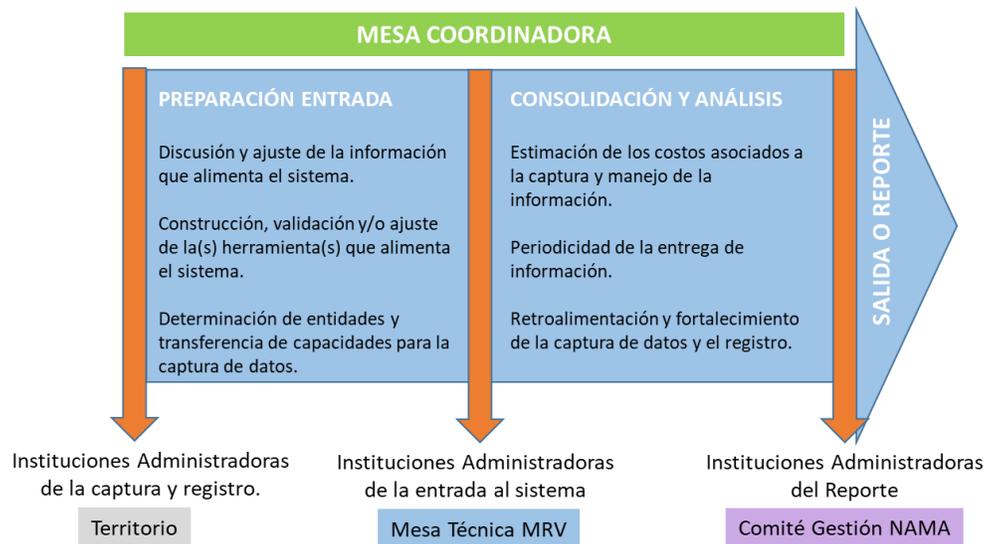
Figura 34: Flujo de Información entre los Receptores Institucionales y la Fuente Operativa Territorial.



Fuente: Construcción propia

Como se puede observar, acorde a lo establecido en el Capítulo 13, (Estructura de Gobernanza de la NAMA RSM), la mesa coordinadora será la encargada de brindar los lineamientos técnicos y alinear el flujo de información de adentro hacia afuera y viceversa. En este sentido, se deben realizar actividades que permitan preparar la entrada de datos al sistema, consolidar y analizar la información y brinde confianza para la salida de reportes. La Figura 35 muestra las actividades establecidas para el fortalecimiento del flujo de información del sistema MRV de la NAMA RSM.

Figura 35. Flujo Operativo para la Generación de Reportes de la NAMA RSM.



Fuente: Construcción propia

Lo anterior implica una serie de arreglos interinstitucionales e intersectoriales que permitan capturar y registrar la información de manera correcta, ejercer controles y ajustes para asegurar su veracidad y gestionar la información de manera que se vincule a todos los actores implicados

(institucional y territorial). La Tabla 68 muestra actividades que se deben desarrollar para el fortalecimiento de la gobernanza del Sistema MRV de la NAMA RSM.

Tabla 68. Fortalecimiento de la gobernanza del Sistema MRV de la NAMA RSM

INSTANCIA	TIPO DE ACTOR	ACTORES	Actividades Específicas	Actividades Comunes
MESA TÉCNICA MRV	TÉCNICO INSTITUCIONAL	MVCT, MADS, IDEAM, SSPD.	<p>Establecer una instancia para reportar y validar los cálculos del MRV y facilitar el seguimiento en RENARE.</p> <p>Dotar de Herramientas y capacitar los actores institucionales y territoriales.</p> <p>Administrar, almacenar y retroalimentar la entrada del sistema MRV.</p>	<p>Adoptar una política de datos abiertos</p> <p>Generar apropiación ciudadana y orientar la toma de decisión.</p> <p>Conformar un grupo de trabajo que se encargue del Sistema MRV</p>
	OPERATIVO TERRITORIAL	AUTORIDADES LOCALES, ALCALDIAS, OPERADORES RRSS	Adoptar una instancia local de seguimiento intersectorial para los proyectos de la NAMA RSM.	

Fuente: Construcción propia

Verificación

Según la Resolución 1447 del 2018 del -MADS-, la verificación -V- es “*el proceso sistemático, independiente y documentado en el que se evalúa la consistencia metodológica de las acciones para la gestión del cambio climático y de las reducciones de emisiones y de las remociones del GEI*”. Se entiende entonces que es un componente transversal que puede proceder en diferentes momentos a través del sistema, revisando el cumplimiento de las metas y objetivos y brindando confiabilidad a las reducciones obtenidas por la NAMA.

La verificación podría basarse en evidencia documental o evidencia física. A continuación, se explica cada tipo de documentación.

Verificación basada en evidencia documental. La evidencia documental son esencialmente los informes. En algunos sistemas, los informes se envían físicamente como documentos, mientras que en otros se puede realizar mediante el envío electrónico de información. La información reportada brinda los detalles de los datos recopilados, el proceso de recopilación, la frecuencia de recopilación, los sistemas de QA (Aseguramiento de calidad) /QC (Control de calidad) de los datos, la metodología de estimación, etc. Los verificadores pueden revisar dichos documentos para evaluar la precisión de la información. Dado que una parte clave de la verificación consiste en garantizar la calidad de los datos, la prescripción de procedimientos mínimos de GC / CC como parte del plan de medición podría permitir una mejor verificación.

Verificación basada en evidencia física. El segundo enfoque para la verificación podría ser a través de evidencia física, es decir, información recopilada por observación directa a través de una visita del

verificador al lugar donde se miden y/o se almacenan los datos. Ejemplos de evidencia física incluyen la inspección de aparatos de medición, equipos de calibración, etc. Los verificadores pueden identificar que dichos medidores están presentes, operativos y calibrados correctamente. También pueden observar cómo el personal usa este equipo para recopilar los datos relevantes para determinar si esta tarea se está realizando correctamente.

El sistema CDM -Estimación de Emisiones Directas- se basa en la verificación tanto documental como física. El objetivo es asegurar mediante registros en el sitio que se siguió el debido proceso en el registro y almacenamiento de información, así como también asegurar la precisión del método y de esta manera pronunciar una conclusión que confirme que las RCE -Reducciones Certificadas de Emisiones- solicitadas para su emisión están libres de errores importantes.

Para la NAMA de RSM, el componente de verificación se diseñó en concordancia con la proyección de reportes generados para las diferentes audiencias, por ello se han diseñado tres tipos de instrumentos de verificación: verificación de reportes de gestión, verificación de reportes de financiamiento, y verificación de reportes de emisiones.

TIPO	VERIFICACIÓN DEL REPORTE DE GESTIÓN
¿QUÉ VERIFICA?	Se revisan y verifican los indicadores de gestión, particularmente los asociados a la medición de la implementación de las acciones de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales. Se comparan los resultados, con los objetivos y metas propuestas en la formulación. Se podrán revisar soportes documentales de la implementación, tales como registros de capacitaciones, registros de instalaciones de equipos, reportes de entidades del sector, entre otros.
INSTANCIA VERIFICADORA	Comité de Gestión de la NAMA RSM
FRECUENCIA	Anual (posterior a la presentación del reporte)

TIPO	VERIFICACIÓN DEL REPORTE DE FINANCIAMIENTO
¿QUÉ VERIFICA?	Se verificará la magnitud del apoyo entre donadores o financiadores y beneficiados, así como la eficacia del apoyo y los impactos de costo-beneficio
INSTANCIA VERIFICADORA	Comité de Gestión de la NAMA RSM
FRECUENCIA	Anual (posterior a la presentación del reporte de financiamiento)

TIPO	VERIFICACIÓN DEL REPORTE DE EMISIONES
------	---------------------------------------

¿QUÉ VERIFICA?	Se verificará la calidad de la información y métodos con los cuales se estiman las reducciones logradas por medio de las iniciativas de mitigación. Así como toda la información cuantitativa y cualitativa reportada (indicadores de actividad y de emisiones); en esta verificación deben estar presentes los criterios de transparencia, exhaustiva, comparabilidad y precisión (TCCA por sus siglas en inglés).
INSTANCIA VERIFICADORA	Comité de Gestión de la NAMA RSM
FRECUENCIA	Bianual (posterior a la presentación del reporte de emisiones)

Fruto de la verificación, pueden generarse oportunidades de mejora en los procesos de Monitoreo, Reporte y Verificación. Algunos de los elementos que pueden ser objeto de mejora continua son los siguientes:

Medición

- Incrementar la eficiencia de la recopilación de datos.
- Incrementar la capacidad para cuantificar estimaciones sobre la reducción de emisiones.
- Medir datos nuevos no disponibles anteriormente
- Mejorar la calidad de los datos mediante metodologías mejoradas para la medición.
- Revisar los supuestos de la línea de base.

Reporte

- Asegurar que la documentación entregada cumpla todos los requisitos de las diferentes audiencias;
- Mejorar la eficiencia mediante el desarrollo de herramientas útiles para los reportes.
- Alineación con cambios en los sistemas de registros nacionales de emisiones y reducciones (ej: RENARE o INGEI)

Verificación

- Implementar la retroalimentación y problemas encontrados por revisores independientes.
- Revisión interna posterior a la entrega para desarrollar un plan de mejora.
- Creación de procedimientos de aseguramiento de la calidad para mejorar la eficiencia en términos de costo y tiempo

Finalmente, la Resolución 1447 del 2018 del -MADS también establece que los procesos de Verificación pueden ser de primera parte, en el caso que se decida **no optar** por el pago de resultados o de tercera parte, dado que se decida **optar** tanto por el pago de resultados como por el reconocimiento de las reducciones de GEI.

En este sentido, el MVCT, en trabajo conjunto con los integrantes de la Mesa Coordinadora¹⁵, asumirán en primera instancia la decisión de optar o no por pago de resultados, en ambos casos deberán trabajar conjuntamente con los **integrantes de la Mesa Técnica MRV** para validar y unificar las herramientas y los métodos de captura, registro y sistematización de la información, cumpliendo con los Principios de Contabilidad de las Emisiones de GEI y de acuerdo a lo planteado en el flujo operativo para la generación de reportes (Figura 37). Realizado este proceso se debe estructurar la verificación (y validación, de ser necesaria) bajo los siguientes criterios:

En cuanto al proceso de **primera parte**, el organismo u entidad encargada de ejecutarla debe demostrar independencia en el proceso de verificación, es decir que *“no haya tenido injerencia en el desarrollo de datos e información sobre los GEI de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 14064-2:2006 o aquella los sustituya o actualice”*. Se propone entonces que el MADS junto con el equipo técnico de la NAMA RSM¹⁶, el cual deberá contar inicialmente con al menos un profesional capacitado, realicen las actividades concernientes a la verificación según la norma mencionada.

Por otra parte, para el proceso de verificación de **tercera parte**, se deberá realizar con un Organismo de Validación y Verificación -OVV-, el cuál deberá seguir los lineamientos de mitigación de GEI de la CMNUCC aplicables a Colombia o las normas que correspondan. Finalmente, la figura 36 muestra el flujograma de la información de la NAMA RSM, diseñado en el marco de la estructura de gobernanza propuesta.

Figura 36. Flujograma de la información de la NAMA RSM



Fuente: Construcción propia

¹⁵ El Capítulo 13. Estructura de Gobernanza de la NAMA RSM, detalla los integrantes de la mesa coordinadora y los roles de cada uno.

¹⁶ El cual forma parte del Fortalecimiento de la Gobernanza Jerárquica, según los estipulado en el Capítulo 13.

13 Estructura de Gobernanza de la NAMA RSM

El manejo de residuos es uno de los desafíos más grandes para áreas urbanas y constituye uno de los cinco problemas prioritarios para las autoridades locales dado que la gestión inapropiada puede resultar en múltiples impactos negativos en la salud y el ambiente (UN-HABITAT, 2010). Así las cosas, directamente proporcional, el manejo de los mismos se convierte en un índice de gobernanza entendiendo esta como *“un proceso en curso, de interacción constante que cambia en función de las circunstancias, las cuales, a su vez, también son cambiantes”*.

Por otra parte, la denominación de basura o residuos es una construcción social en función del valor o la valorización que las partes involucradas (actores públicos y privados) le asignan en un momento y un lugar determinado (Davies, 2008), por ello el manejo debe partir de un arreglo socio-institucional nombrado Gestión Integral de Residuos Sólidos -GIRS-.

Si bien, la Gestión Integral de Residuos Sólidos técnicamente obedece a recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento (reciclaje) y disposición final, se puede considerar como un sistema de opciones de manejo multifacético que se integran e influyen unas a otras donde las decisiones que se toman para tratar un problema afectan los otros componentes, por ello se deben generar las condiciones necesarias para establecer un ciclo continuo de planeación y retroalimentación.

Visto así y dado que la presente NAMA pretende intervenir directamente, mediante la definición de acciones de mitigación al cambio climático, en las actividades de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales, se requiere implementar mecanismos para atender las necesidades, intereses y perspectivas de los diversos actores que se encuentran implicados en la GIRS en relación al desarrollo de las diferentes fases estratégicas de la NAMA RSM las cuales se muestran en la Tabla 69.

Tabla 69. Fases estratégicas de la NAMA Residuos Sólidos Municipales.

FASE ESTRATÉGICA	DESCRIPCIÓN	PRODUCTO
DISEÑO	Estudios y análisis técnicos para la conceptualización y el desarrollo de la propuesta. Determinación de tecnologías y cálculo de emisiones. Diseño de líneas estratégicas e identificación de la financiación.	DOCUMENTO Y REGISTRO NAMA
GESTIÓN	Actividades complementarias para la articulación interinstitucional e intersectorial. Buscar mecanismos para la consecución y el manejo de recursos técnicos, económicos y operativos.	GOBERNANZA Y MARCO INSTITUCIONAL NAMA
IMPLEMENTACIÓN	Ejecución física y financiera de cada una de las etapas de implementación diseñadas. Desarrollo de pruebas piloto y escalonamiento.	OPERACIÓN NAMA
SEGUIMIENTO Y MONITOREO	A escala territorial, se busca la continuidad de los procesos. Medición, reporte y verificación: Evaluar la ejecución y tomar decisiones.	MEJORA CONTINUA

Fuente: Elaboración propia con base en: Nama e-learning course PNUMA

El presente capítulo se organizó en tres partes. En la primera parte se realiza una identificación y caracterización de los actores claves con relación a las fases estratégicas de la NAMA RSM; en la segunda parte se propone un sistema de gobernanza que incluye las instancias, los actores y sus

funciones y finalmente; en la tercera parte, se diseña un plan de gestión y un plan de implementación que permiten determinar un cronograma de actividades o plan de acción.

13.1 Identificación y caracterización de actores clave NAMA RSM.

Para la caracterización de actores clave se diseñó una matriz que permitiera establecer la capacidad de gestión de cada actor en función de su incidencia e influencia en el desarrollo de la NAMA, adaptando los criterios expuestos en la Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de Residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia (MINVIVIENDA, 2017), así:

- **Incidencia:** Entendida como el nivel de impacto o impacto potencial de las acciones que desarrolla el actor para el desarrollo de las fases estratégicas de la NAMA RSM y/o en la GIRS.
- **Influencia:** Entendida como la capacidad o nivel de poder potencial del actor para influir sobre los demás actores que forman parte de la NAMA RSM y/o su capacidad de gestión.

Para cada variable se asignó una valoración de acuerdo a las capacidades de cada actor así:

Alta= 3 Media= 2 Baja = 1

La Tabla 70 muestra el nivel de influencia y la incidencia de cada actor en el marco del desarrollo de las fases estratégicas de la NAMA RSM.

Tabla 70. Incidencia e Influencia de los Actores en la NAMA RSM

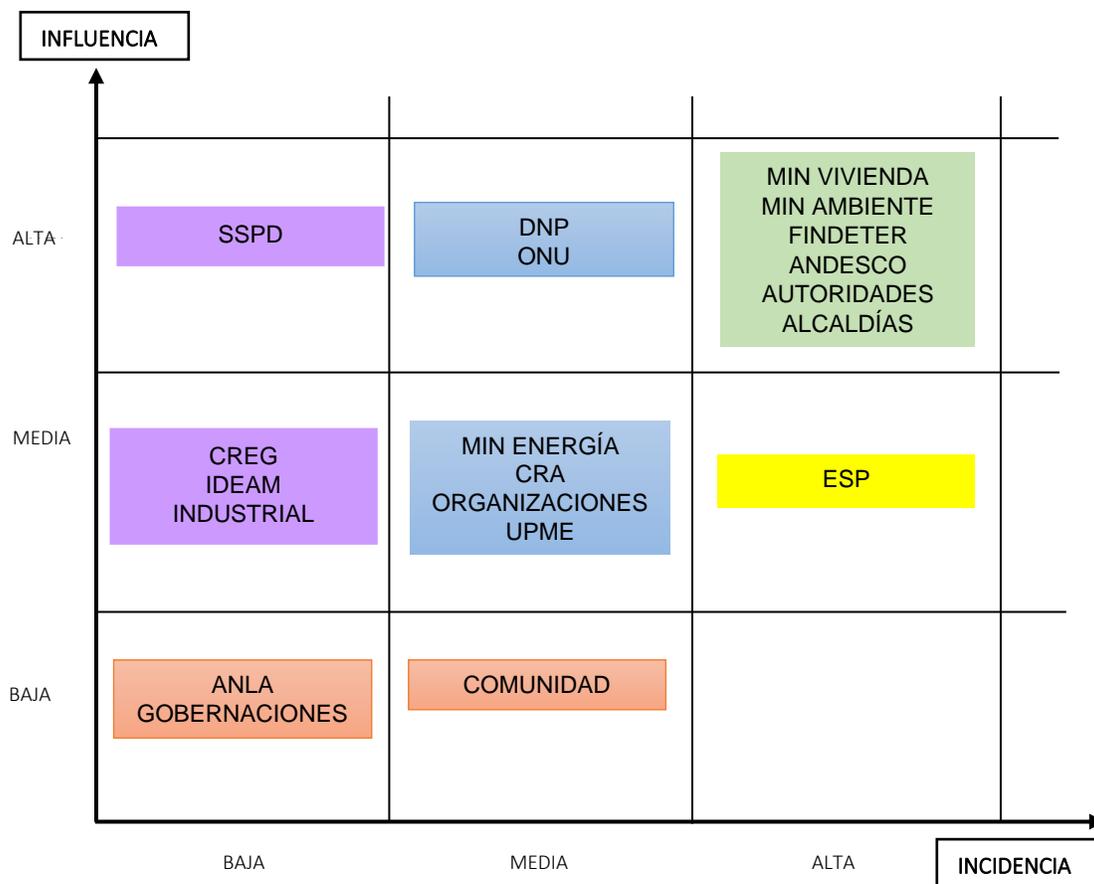
ACTOR	INCIDENCIA			INFLUENCIA			ANÁLISIS
	A 3	M 2	B 1	A 3	M 2	B 1	
DNP		2		3			Tiene potencial para actuar a nivel de planificación estratégica y realizar acompañamiento, define las políticas a nivel Nacional. Posee un alto reconocimiento institucional y social.
MIN VIVIENDA	3			3			Es la autoridad encargada de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ha venido implementando acciones en el territorio y cuenta con reconocimiento institucional. Reglamenta el servicio público de aseo.
MIN AMBIENTE	3			3			Es la autoridad encargada de las licencias ambientales y la normativa sobre cambio climático a nivel nacional. Cuenta con reconocimiento dadas las acciones de mitigación al cambio climático que viene promoviendo y diseña el sistema MRV Nacional.
MIN MINAS Y ENERGÍA		2			2		Es un actor estratégico dado que la NAMA tiene fines de aprovechamiento energético de los residuos. Tiene la capacidad de influir como autoridad sobre los actores de la NAMA.
SSPD			1	3			Sus funciones se enmarcan en la inspección, vigilancia y control en aspectos técnicos - operativos, comerciales y empresariales de la prestación de los servicios AAA. A

ACTOR	INCIDENCIA			INFLUENCIA			ANÁLISIS
	A 3	M 2	B 1	A 3	M 2	B 1	
							nivel territorial cuenta con reconocimiento y tiene gran influencia sobre actores relevantes en la gestión integral de residuos sólidos
CRA		2			2		Tiene la capacidad de incidir a través de la regulación del sistema tarifario. Su capacidad de influir recae sobre ciertos actores de la NAMA
CREG			1		2		Regula los servicios públicos domiciliarios de Energía y Gas, tiene relevancia dado que la NAMA pretende valorizar energéticamente los residuos y puede influir sobre ciertos actores.
ANLA			1			1	Su capacidad de actuación en la NAMA es puntual, principalmente en el control y vigilancia.
IDEAM			1		2		Es la entidad encargada de la información oficial sobre cambio climático. Sin embargo, a nivel territorial tiene un gran reconocimiento y puede llegar a influir sobre los actores regionales y locales de la NAMA RSM
UPME		2			2		Reglamenta la generación energética en el País. Genera información relevante para la NAMA RSM. Su reconocimiento institucional puede ser alto, pero territorialmente es más bajo a nivel de actores.
FINDETER	3			3			Gestiona iniciativas a nivel Nacional y posee un gran reconocimiento a nivel institucional y territorial. Tiene poder de convocatoria y gestión.
ANDESCO	3			3			Está involucrada a lo largo de la gestión integral de residuos sólidos y posee reconocimiento valioso a nivel territorial para la NAMA RSM, tiene capacidad de influenciar a todos los prestadores del servicio a nivel nacional
AUTORIDADES AMBIENTALES	3			3			Realizan acciones más enfocadas al comando y control con relación a los RSM. Sin embargo, están encargadas de otorgar los permisos, aprobar los planes de manejo ambiental y realizar seguimiento a las licencias ambientales. Tienen reconocimiento institucional y conocimiento territorial
GOBERNACIONES			1			1	Su campo de acción se enfoca más hacia el apoyo técnico y financiero. Brinda acompañamiento en el proceso a las administraciones locales y no posee tanta influencia sobre los actores de la NAMA RSM
ALCALDÍAS	3			3			Son los responsables directos de la gestión integral de residuos sólidos municipales, por tanto, fundamentales para el logro del objetivo de la NAMA RSM
ESP	3				2		Poseen la capacidad de incidir en todo el sistema de GIRS local y tienen reconocimiento social.
OTROS PRESTADORES		2			2		Influyen sobre ciertas actividades relacionadas con la GIRS que son vitales para el correcto aprovechamiento energético de los residuos, tienen reconocimiento social fuerte a nivel local.
SECTOR INDUSTRIAL			1		2		No influyen directamente en las fases de la NAMA, pero la presencia del sector privado brinda reconocimiento y fortalece la articulación y vinculación de actores sociales y los entes territoriales regionales.

ACTOR	INCIDENCIA			INFLUENCIA			ANÁLISIS
	A 3	M 2	B 1	A 3	M 2	B 1	
POBLACIÓN/ COMUNIDAD		2				1	Entendidos como los usuarios del servicio de aseo, tienen potencial para incidir sobre la separación de residuos vital para el aprovechamiento de los RSM, su influencia en el marco de la NAMA es limitada dado su campo de acción individual.
ONU		2		3			Cuentan con un reconocimiento político y social fuerte tanto en las instituciones como en los territorios. Su incidencia en la NAMA RSM se da en el marco del apoyo que puede brindar.

Con la información recolectada en la tabla anterior se procedió a elaborar un mapa de actores clave en un plano cartesiano. El eje vertical corresponde al nivel de Influencia y el eje horizontal corresponde al nivel de Incidencia de cada actor en NAMA RSM. La Figura 37 muestra el resultado obtenido.

Figura 37. Mapa de Actores Clave NAMA RSM



En el cuadrante verde (alta incidencia y alta influencia), se encuentran los actores que deben mantenerse cercanos y articulados al desarrollo del esquema, son vitales y deben mantener en constante comunicación para el logro de los objetivos propuestos. En el cuadrante amarillo (alta incidencia y mediana influencia), se encuentran los actores que muestran interés y toman decisiones, pueden desarrollar un rol fundamental o vital para la NAMA RSM, pero sus objetivos tienen intereses particulares. Se debe trabajar rápidamente en su vinculación al desarrollo de la NAMA RSM.

En los cuadrantes azules (incidencia e influencia media), se encuentran los actores que tienen poder decisión propia, generan confianza y tienen un grado de relación directa con algunas de las fases estratégicas de la NAMA RSM y por tanto son fundamentales para la gestión y el logro de los objetivos. Son actores articuladores y estratégicos necesarios para generar confianza en las diferentes fases estratégicas de la NAMA RSM.

En los cuadrantes rojos (baja influencia y mediana y baja incidencia), se encuentran los actores que tienen cierto grado de competencia, realizan acciones puntuales o en un área determinada de la NAMA RSM y por lo tanto pueden ser involucrados en cualquier momento en el desarrollo del mismo dependiendo de las necesidades específicas.

Finalmente, en los cuadrantes morados (influencia media y alta y baja incidencia), se encuentran los actores que normalmente no participan en la toma de decisiones, sin embargo, involucrarlos rápidamente representa credibilidad y pueden generar confianza en la NAMA RSM.

13.2 Estructura de gobernanza de la NAMA RSM

Según la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES, 2016), se evidencia una “baja coordinación interinstitucional para los distintos proyectos del servicio público de aseo” y resalta específicamente que “no se posee un marco institucional establecido para las actividades de aprovechamiento, tratamiento biológico y tratamiento con fines de valorización”.

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente que la NAMA RSM es un desafío a la gobernanza ya que exige: i) la creación de un marco institucional que permita brindar respuestas apropiadas desde diversos ámbitos, tanto públicos como privados, a la vez que modifica la percepción de la comunidad (usuarios del servicio) y del propio Estado (gobierno nacional, regional y local) respecto a la urgencia en la adopción de las acciones planteadas y ii) la adecuación de los marcos normativos, a través de la adopción de instrumentos administrativos como convenios, acuerdos o memorandos de entendimiento donde se definan las instancias y las funciones y competencias de cada actor.

Adaptado de Weibust y Meadowcroft (Weibust, 2014), el presente capítulo define el marco institucional para el funcionamiento del esquema de gobernanza como se muestra en la Tabla 71 a continuación:

Tabla 71. Definición del Esquema de Gobernanza para la NAMA RSM.

TIPO GOBERNANZA	CONTEXTUALIZACIÓN
Jerárquica	Hace referencia a la entidad u organismo llamado a liderar y/o coordinar la NAMA RSM. Asimismo, esta entidad deberá adoptar la NAMA RSM en su esquema organizacional y crear cargos o asignar funciones relacionadas con la misma.
Horizontal	Hace referencia a la transversalización de la NAMA RSM en los niveles Nacional y Regional, generando articulación para el desarrollo de las diferentes fases de la NAMA RSM a la vez que se genera transferencia de conocimiento e información. En este sentido, las entidades que se relacionan directamente con la implementación deberán asignar dentro de su planta de cargos o contractual, funciones relacionadas con la NAMA RSM.
Vertical	Se divide en dos: Hacia arriba, hace referencia a la concatenación de acciones y el apoyo con entidades estatales relacionadas con la NAMA RSM. Hacia abajo, para brindar apertura a nivel territorial, facilitando la participación y vinculando a los diferentes sectores públicos, privados y comunitarios en la toma de decisiones y el desarrollo de las fases de la NAMA RSM.

Fuente: Elaboración propia con base en: Weibust y Meadowcroft (2014)

Así las cosas, se hace necesario establecer el rol de cada actor en función de su capacidad de intervención en las acciones que se desarrollan en las diferentes fases del esquema dando forma de esta manera a las mesas, los comités, la estructura de apoyo institucional y territorial que finalmente permitirá la construcción de un instrumento administrativo y del respectivo manual de operaciones para la NAMA RSM. Los roles definidos son los siguientes:

- **Decisorio:** Cuando es imprescindible y/o determinante su participación en esta fase de la NAMA RSM.
- **Estratégico:** Cuando su participación es necesaria para ayudar a gestionar y facilitar el desarrollo de la fase estratégica de la NAMA RSM.
- **Apoyo:** Cuando su participación no es determinante, pero brinda información relevante en un área o campo de acción determinado en el marco de la NAMA RSM.

La tabla a continuación muestra el rol de cada actor en cada una de las fases estratégicas de la NAMA RSM.

Tabla 72. Roles de actores por fases

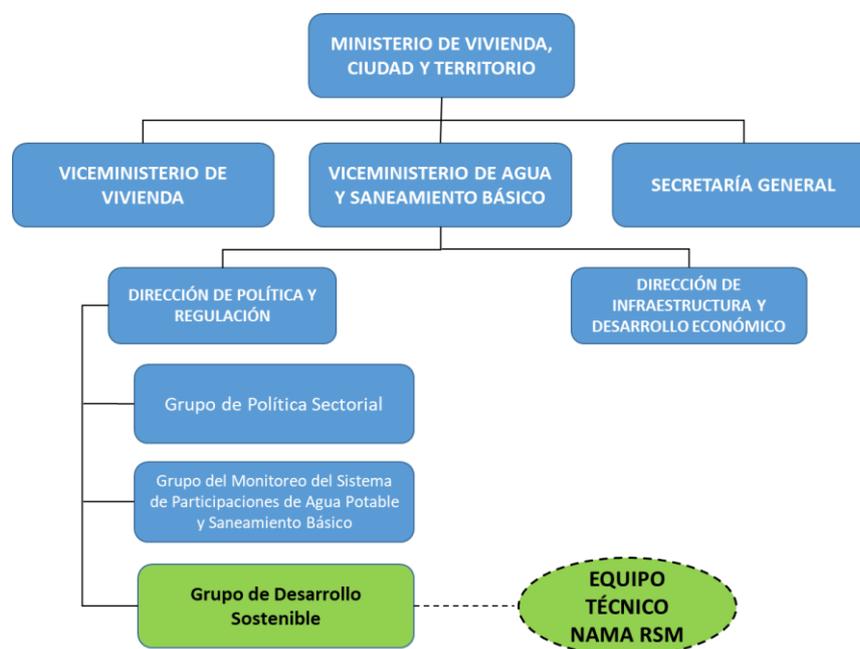
NIVEL	ACTOR	POSIBILIDAD Y/O CAPACIDAD DE INTERVENCIÓN EN LA NAMA	ROL			
			DISEÑO	GESTIÓN	IMPLEMENT.	MONITOREO
NACIONAL	DNP	Acompañamiento técnico y estratégico. Asignar recursos económicos y articular actores	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO	APOYO
	MIN VIVIENDA	Autoridad, articula los actores con base en la Política Nacional de GIRS y apoya técnica y económicamente.	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO
	MIN AMBIENTE	Autoridad, vinculante en los temas de SDF y de acciones de mitigación de Cambio Climático. Aportar recursos económicos y técnicos	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO
	MIN MINAS Y ENERGÍA	Autoridad, su participación es determinante para el tratamiento térmico o generación de energía con RS debe participar en la planificación estratégica	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	DECISORIO	APOYO
	SSPD	Supervisión, vigilancia y control. Facilita información y tiene influencia sobre los actores territoriales.	APOYO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO
	CREG	Formulan y adoptan medidas que mejoren la eficiencia en la prestación del servicio público de aseo. Acompañan técnicamente para evaluar la remuneración del servicio	APOYO	APOYO	APOYO	APOYO
	CRA		APOYO	APOYO	ESTRATÉGICO	APOYO
	ANLA	Supervisión, vigilancia y control puntualmente en los Sitios de Disposición Final. Debe brindar acompañamiento técnico y operativo en acciones puntuales de la NAMA RSM	APOYO	APOYO	APOYO	ESTRATÉGICO
	IDEAM	Realiza acompañamiento técnico para el seguimiento y monitoreo. Participar de la planificación estratégica para la vinculación de actores y la gestión de recursos.	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	DECISORIO
	UPME	Brindar lineamientos y acompañamiento técnico y operativo. Brindar solides y viabilidad a los proyectos	APOYO	ESTRATÉGICO	APOYO	APOYO
	FINDETER	Fortalecer el proceso a través de la gestión de recursos técnicos y económicos. Identificar fuentes y vincular actores a las fases.	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO	APOYO

	ANDESCO	Brindar acompañamiento en el desarrollo de las fases de la NAMA y generar aportes técnicos y operativos.	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO
REGIONAL	AUTORIDADES AMBIENTALES	Brindar acompañamiento técnico y operativo en las Fases de la NAMA RSM. Generar articulación con el territorio.	APOYO	DECISORIO	DECISORIO	DECISORIO
	GOBERNACIÓN	Apoyar técnico, financiera y operativamente a las administraciones locales en materia saneamiento básico.	APOYO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	APOYO
LOCAL	ALCALDÍAS	Destinar recursos económicos y técnicos para la implementación de acciones, adoptar medidas para optimizar el proceso y articular la gestión en el territorio.	APOYO	ESTRATÉGICO	DECISORIO	DECISORIO
	ESP	Pueden invertir recursos técnicos y económicos, generar desarrollos jurídicos para la operación de la NAMA RSM.	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	DECISORIO	DECISORIO
	OTROS PRESTADORES	Realizan acompañamiento técnico y operativo, vinculan acciones y actores estratégicos en la NAMA RSM.	APOYO	ESTRATÉGICO	APOYO	ESTRATÉGICO
	SECTOR INDUSTRIAL	Potenciales clientes de Combustible Derivado de Residuos WtE, RCD.	APOYO	APOYO	APOYO	APOYO
	POBLACIÓN / COMUNIDAD	Generar procesos culturales, sociales, económicos y políticos que incidan en la NAMA RSM.	APOYO	APOYO	APOYO	APOYO
INTERNACIONAL	ONU	Generar directrices y brindar acompañamiento técnico para ayudar a la operación y a la gestión de recursos económicos.	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO	ESTRATÉGICO

Para la consolidación de la gobernanza jerárquica, es necesario que desde el gobierno central se establezca y fortalezca un canal de comunicación y articulación a través de la adopción de la NAMA RSM en uno de sus organismos. En este sentido, **la coordinación general de la NAMA RSM deberá estar en cabeza del MVCT** toda vez que es el órgano encargado de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Dada la estructura organizacional actual del MVCT, se propone fortalecer técnica y humanamente el equipo de trabajo adscrito al Grupo de Desarrollo Sostenible del Viceministerio de Agua y Saneamiento acorde a los expuesto en el capítulo 10.1.2 del presente documento, quienes deberán adoptar las funciones de coordinación y la secretaría técnica de la NAMA RSM como se muestra en la Figura 38.

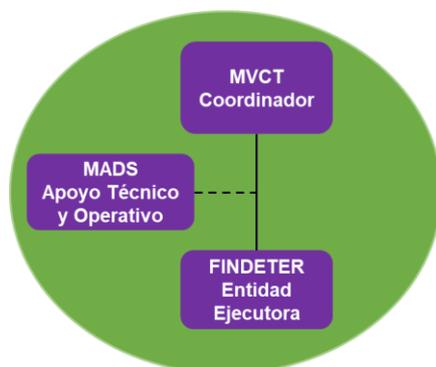
Figura 38. Fortalecimiento de las Capacidades técnicas y humanas del MVCT.



Fuente: Elaboración propia con base en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/copia-de-organigrama-29-12-2020.jpg>

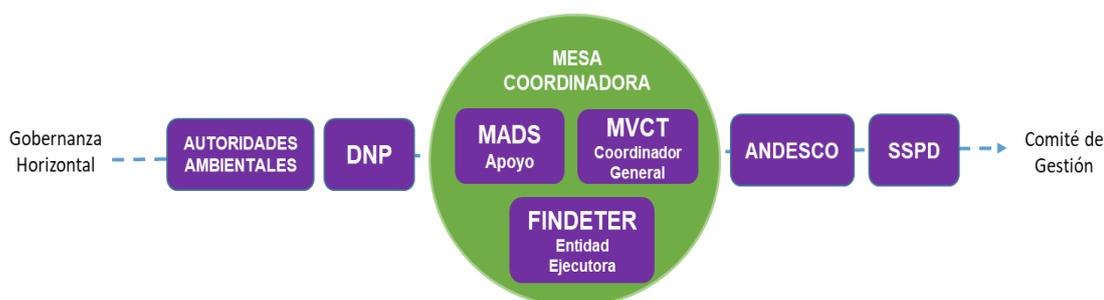
Por otra parte, el desarrollo de la NAMA RSM requiere esfuerzos intersectoriales, se entiende entonces que la responsabilidad de la misma no debe recaer en un solo organismo o entidad, luego, se debe crear la **mesa de coordinación de la NAMA RSM** conformada por la entidad coordinadora - MVCT-, una entidad de apoyo técnico y operativo -MADS- y una entidad ejecutora -FINDETER-. Estas entidades deberán contar con una cabeza visible que se articule a esta mesa de coordinación por tanto deberán incluir o adicionar funciones relacionadas con la NAMA RSM dentro de su planta de cargos. Igualmente, deberán formular y/o validar conjuntamente el plan de acción de la NAMA RSM en función del presente documento y formular el manual de operaciones. FINDETER tendrá un rol vinculante en el acompañamiento, la financiación y la ejecución de la NAMA RSM. La figura a continuación muestra la estructura de la mesa coordinadora.

Figura 39. Mesa Coordinadora NAMA RSM



Una vez establecida y fortalecida la estructura de gobernanza jerárquica de la NAMA RSM y dado que existe una relación directa en la implementación de las acciones aquí propuestas con diferentes entidades públicas y privadas, para el fortalecimiento de la gobernanza horizontal se debe conformar el **Comité de Gestión de la NAMA RSM que permita la creación de un marco institucional**, el cual estará compuesto por la mesa coordinadora y los actores que tienen más influencia y un rol decisivo a nivel Nacional: DNP, SSPD y ANDESCO, quienes estarán a cargo de realizar la articulación interinstitucional e intersectorial y desarrollar los mecanismos para la consecución y manejo de los recursos técnicos, financieros y operativos, en este sentido, las entidades mencionadas deberán incluir y/o delegar dentro de sus grupos de trabajo funciones para la gestión y la implementación de la NAMA RSM. Adicionalmente, el comité de gestión deberá generar los espacios y las condiciones necesarias para que se convoque la representación de las Autoridades Ambientales y de los Municipios dependiendo de las necesidades específicas según el plan de implementación. La Figura 41 muestra la estructura de gobernanza horizontal.

Figura 40. Estructura de Gobernanza Horizontal de la NAMA RSM.

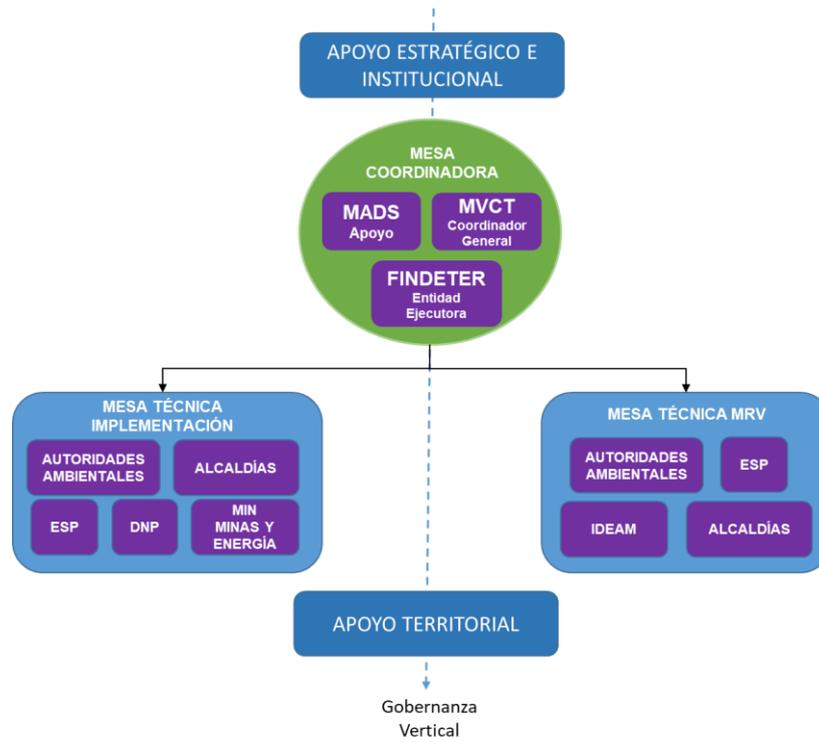


En el marco del fortalecimiento de la gobernanza vertical, dependiendo de la fase estratégica de la NAMA RSM y dada la complejidad para la implementación y el seguimiento y monitoreo -MRV- se deberán conformar mesas técnicas con los actores que tienen un rol decisivo en cada una de las fases. Por tanto, la **Mesa Técnica de Implementación** estará conformada por la mesa coordinadora y el DNP, el Ministerio de Minas y Energía, un representante de las Autoridades Ambientales; un representante de cada una de las ALCALDÍAS y las ESP priorizadas según el plan de implementación.

La **Mesa Técnica MRV** estará conformada por la mesa coordinadora y el IDEAM, un representante de cada una de las Autoridades Ambientales, las ALCALDÍAS y las ESP donde se hayan implementado

acciones de la NAMA RSM. La Figura 41 muestra el marco institucional para el fortalecimiento de la gobernanza vertical de la NAMA RSM.

Figura 41. Gobernanza Vertical de la NAMA RSM.



Se identifican entonces la ONU y el GCF, como **actores transversales** toda vez que brindan **apoyo estratégico** a través de la generación de lineamientos hasta el potencial de financiación de proyectos que representan en las diferentes fases de NAMA RSM, por tanto, se deben mantener cercanos al comité de gestión y a las mesas técnicas. Además, se distinguen **dos grupos de apoyo**. El primer grupo de actores brindará **apoyo en temas institucionales** entre los cuales se encuentran: la Comisión de Regulación de Energía y Gas; la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento; la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y; la Unidad de Planeación Minero-Energética quienes serán convocados en temas técnicos específicos en las diferentes fases según las necesidades identificadas en el proceso.

El segundo grupo de actores brindará **apoyo en temas territoriales** entre los cuales se encuentran: Otros prestadores del servicio público de aseo (incluidos recicladores de oficio), el sector industrial, las Gobernaciones y la comunidad quienes serán convocados acorde al plan de implementación para temas operativos específicos. La Figura 42 muestra el esquema consolidado propuesto para la gobernanza de la NAMA RSM y la Tabla 73 las instancias, los actores y las funciones.

Figura 42. Esquema de Gobernanza Propuesto para la NAMA RSM

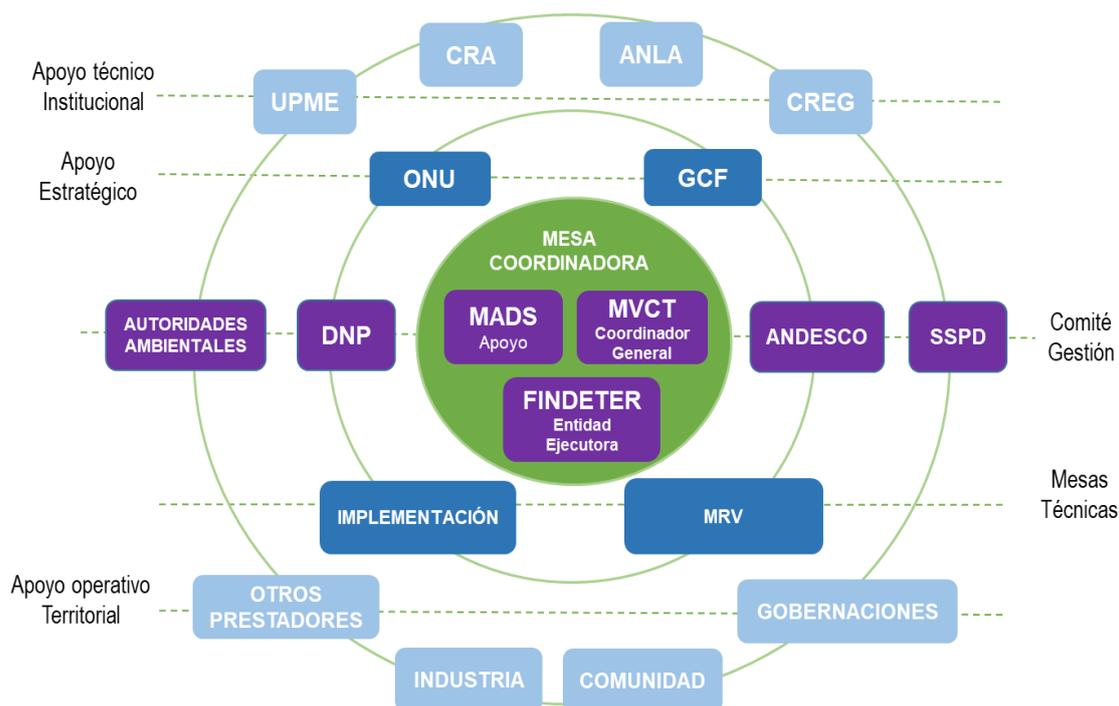


Tabla 73. Instancias, Actores y Funciones para el Sistema de Gobernanza de la NAMA RSM.

INSTANCIA	ACTOR (ES)	FUNCION (ES)
COORDINADOR GENERAL	MVCT	Coordinar la participación de los actores relevantes y la organización de actividades. Proveer apoyo técnico y el fomento de capacidades. Mantener y controlar las herramientas que se generen dentro de la NAMA. Generar las condiciones necesarias para la conformación de la Mesa Coordinadora.
ENTIDAD EJECUTORA	FINDETER	Apoyar la vinculación interinstitucional e intersectorial para el desarrollo de la NAMA RSM. Generar las condiciones jurídicas necesarias para la implementación de acciones. Apoyar la creación de los mecanismos de financiación. Apoyar técnicamente y financieramente la implementación de la NAMA RSM.
ENTIDAD APOYO TÉCNICO Y OPERATIVO	MADS	Articular el componente técnico institucional con el desarrollo operativo territorial para la implementación. Identificar las oportunidades de implementación de la NAMA RSM y generar un portafolio. Proveer apoyo técnico y acompañamiento para la NAMA RSM Apoyar la gestión de recursos económicos • Apoyar gestiones con donantes o financiadores de la NAMA
MESA COORDINADORA	MVCT, MADS y FINDETER	Generar las condiciones necesarias para la conformación del comité de gestión y aunar esfuerzos técnicos, económicos y financieros para la consolidación institucional de la NAMA RSM. Revisar y ajustar conjuntamente el Plan de Acción y/o el Plan de Implementación de la NAMA RSM. Brindar acompañamiento operativo, técnico y económico en las diferentes fases de la NAMA RSM.

INSTANCIA	ACTOR (ES)	FUNCION (ES)
COMITÉ DE GESTIÓN	MVCT, MADS, DNP, SSPD, ANDESCO, FINDETER	<p>Apoyar la vinculación interinstitucional e intersectorial para el desarrollo de la NAMA RSM.</p> <p>Generar las condiciones y los espacios para la participación de actores.</p> <p>Apoyar técnica, financiera y operativamente la implementación de las acciones.</p> <p>Generar los ajustes que sean necesarios de acuerdo a los resultados obtenidos en el reporte MRV.</p> <p>Convocar y atender las sugerencias realizadas por las mesas técnicas.</p> <p>Gestionar los mecanismos para el manejo de los recursos financieros.</p> <p>Brindar soporte para la continuidad de los procesos a nivel territorial.</p>
	Se convocarán cuando sea necesario la representación de las Autoridades Ambientales y de las Alcaldías	
MESA TÉCNICA IMPLEMENTACIÓN	MVCT, MADS, DNP, MME, AUTORIDADES AMBIENTALES, ALCALDÍAS Y ESP	<p>Desarrollar la ejecución física y financiera de cada una de las acciones de mitigación diseñadas.</p> <p>Apoyar técnicamente y operativamente la implementación y la puesta en marcha según el Plan de Implementación y/o el Plan de Acción de la NAMA RSM.</p> <p>Generar las condiciones y convocar los actores territoriales según el Plan de Implementación de la NAMA RSM.</p> <p>Generar lineamientos según los resultados obtenidos en el reporte MRV.</p>
MESA TÉCNICA MRV	MVCT, MADS, IDEAM, AUTORIDADES AMBIENTALES, ALCALDÍAS Y ESP	<p>Generar los reportes MRV</p> <p>Evaluar la ejecución de la NAMA RSM según los reportes</p> <p>Generar lineamientos técnicos, operativos y financieros acorde a los datos recolectados.</p> <p>Generar las herramientas necesarias para la sistematización y consolidación de los reportes.</p>
APOYO ESTRATÉGICO	ONU Y GCF	<p>Generan lineamientos estratégicos para operar la NAMA RSM</p> <p>Apoyan financieramente la implementación de la NAMA RSM</p>
APOYO TÉCNICO INSTITUCIONAL	CREG, CRA, ANLA Y UPME	<p>Brindar acompañamiento técnico en las diferentes fases de la NAMA RSM.</p> <p>Apoyar la vinculación de actores institucionales y sectoriales para la financiación y el acompañamiento técnico y operativo.</p> <p>Brindar información necesaria para ajustar las acciones de mitigación y complementar el desarrollo financiero.</p> <p>Generar aportes según necesidades específicas y los resultados obtenidos en el reporte MRV.</p>
APOYO OPERATIVO TERRITORIAL	OTROS PRESTADORES, INDUSTRIAL, GOBERNACIONES Y COMUNIDAD	<p>Apoyar la vinculación de actores a nivel territorial para la implementación de las acciones.</p> <p>Brindar acompañamiento operativo en los territorios para la implementación de las acciones de mitigación.</p> <p>Apoyar la recolección de información para el reporte MRV.</p>

Finalmente, una vez constituido y adoptado el marco institucional, se evidencia la necesidad de adoptar un acto administrativo que logre generar y concretar espacios de gestión, comunicación, educación y seguimiento entre las entidades responsables y articuladoras con los ejecutores y receptores de la implementación. Este espacio brindará las herramientas necesarias que garantice que la NAMA RSM sea vinculante, no solamente a nivel de la gobernanza horizontal sino también de las necesidades de los sectores y de la relación comunidad-territorio.

13.3 Plan de gestión e implementación de la NAMA RSM.

Las estructuras institucionales y la coordinación entre entidades son cruciales para asegurar que las políticas sean simplificadas y que los esfuerzos estén coordinados para alcanzar la meta común (Ryfisch, 2017). En este sentido, la integración, entendida como la incorporación de la NAMA RSM en estas estructuras organizacionales, es uno de los elementos decisivos para su desarrollo, más aún si se tiene como meta el financiamiento climático internacional. Así las cosas, el objetivo final de la fase estratégica de gestión es la inserción de la NAMA RSM dentro de las estructuras organizacionales para ello, la Tabla 74. Plan de Gestión NAMA RSM., plantea las siguientes acciones, objetivos y actividades para el fortalecimiento de la gobernanza y la

Figura 43 propone a manera de ejemplo un cronograma para el desarrollo de las actividades propuestas en el Plan de Gestión en congruencia con el cronograma de inversiones (Apartado 10.1.3). Se debe tener presente que la gestión de la NAMA RSM es un proceso en constante interacción y cambiante a través del tiempo, por tanto, se deben generar los espacios necesarios para mantener en contacto permanente y permitir el flujo de la información.

Tabla 74. Plan de Gestión NAMA RSM.

ACCIÓN	OBJETIVO (S)	ACTIVIDAD (ES)
Fortalecimiento de la Gobernanza Jerárquica	Fortalecer las capacidades institucionales y de gestión de la entidad coordinadora en torno a la NAMA RSM. Conformar la mesa coordinadora.	Contratar personal capacitado acorde a lo establecido en el capítulo 10.1.2 del presente documento (3 profesionales con dedicación 100%) Revisar y adoptar los requisitos habilitantes para la conformación de la mesa coordinadora. Fortalecer el proceso de comunicación interna para conocer la NAMA RSM y las actividades a desarrollar. Adoptar y/o instaurar la mesa coordinadora mediante acto administrativo.
Fortalecimiento de la Gobernanza Horizontal	Transferir conocimiento para fortalecer las capacidades institucionales. Conformar el comité de gestión y las mesas técnicas	Gestionar la asignación de personal, dentro de la planta de cargos de las instituciones del comité de gestión y de las mesas técnicas, para las funciones concernientes a la NAMA RSM. Realizar las actividades necesarias para la integración de la NAMA RSM en las estructuras institucionales. Diseñar y adoptar mecanismos de comunicación interna y externa. Adoptar y/o instaurar la mesa coordinadora mediante acto administrativo.
Fortalecimiento de la Gobernanza Vertical	Fortalecer la operatividad de la NAMA RSM a nivel territorial. Generar las condiciones necesarias para la implementación y evaluación de acciones	Activar la operación del Instrumento Financiero (Adoptar el Manual expuesto en el Anexo 4. Modelo Financiero). Adoptar y generar las herramientas necesarias para la consolidación del sistema MRV según lo expuesto en el Capítulo 11. Adoptar y/o instaurar las mesas técnicas mediante acto administrativo.

Figura 43. Cronograma Plan de Gestión de la NAMA RSM

FASES ESTRATÉGICA Y ACCIONES	AÑO 0				AÑO 1				AÑO N			
	TRIMESTRES											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
DISEÑO Y GESTIÓN												
Concepción Formulación												
Fortalecimiento de la gobernanza Jerárquica												
Fortalecimiento de la gobernanza Horizontal												
Fortalecimiento de Gobernanza Vertical (Herramientas y Mecanismo Financiero)												
Adopción de las Instancias de Gobernanza y puesta en Marcha												
Reuniones Control Semestrales												
Reportes MVR gestión semestrales												
Reportes MVR Emisiones y financiero												

Finalmente, se diseñaron las fichas de proyectos para cada una de las acciones de mitigación propuestas en el Capítulo 8, teniendo en cuenta el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación y en congruencia con análisis de costos y el cronograma de inversiones. Las fichas permitirán que la mesa técnica de implementación pueda escalar las acciones para llevar cada SDF a un estado óptimo de funcionamiento según sus capacidades y defina de acuerdo a los recursos disponibles a cuáles les pueda dar mayor celeridad.

Se hace énfasis que tanto el plan de gestión y el plan de implementación, así como los cronogramas establecidos, estarán sujetos a evaluación y ajuste por parte de la entidad coordinadora y la entidad ejecutora según las dinámicas propias de funcionamiento y no contemplan las externalidades que pueden llegar a modificar el desarrollo de las acciones.

Tabla 75. Ficha Implementación Proyectos RGV+Q

RGV+ Q. Recolección de gases de vertedero y quema																
CRITERIO PRIORIZACIÓN	Según Decreto 1784 de 2017 de mayor a menor categoría															
SDF A IMPLEMENTAR	1. El Clavo 2. Los Picachos															
Potencial de Mitigación TOTAL	Acorde al volumen de gas tratado	Costos Aproximados Implementación.										3.521.417 USD				
		Costos Estudios, Permisos y Otros										223.560 USD				
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con sistema de recolección de gases de vertedero y su quema • Cantidad de metano quemado • Emisiones de CO2 evitadas por la quema del metano • Seguimiento y control de olores invasivos • No de capacitaciones impartidas sobre Buenas Prácticas de manejo del sistema de captura y quema de metano. 															
HOJA DE RUTA																
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actividad de sensibilización y capacitación de los municipios involucrados. 2. Revisión de contrato operador del RS, licencia ambiental. 3. Revisión del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente y el PGIRS. 4. Consecución de recursos y financiación para la implementación. Incluye inscripción del proyecto como MDL. 5. MRV. 															
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	6. Elaboración de estudios de pre factibilidad, factibilidad e implementación.															
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades Gobernanza	■	■			■				■				■			
Pre factibilidad y factibilidad			■	■	■	■										
Estructuración y licitación o equivalente							■	■								
Diseño, construcción y montaje									■	■	■	■				
Pruebas y puesta en operación													■	■		

Tabla 76. Ficha Implementación Proyectos RGVQ + AE.

RGVQ+AE. Recolección de gases de vertedero con quema y aprovechamiento energético de biogás.																
CRITERIO PRIORIZACIÓN	De mayor a menor cantidad de CH4 Emitido															
SDF A IMPLEMENTAR	1. Pradera 2. Colombia El Guabal de Yotoco 3. Nuevo Mondoñedo. 4. El Carrasco 5. Parque Tecnológico Ambiental Guayabal. 6. Regional Presidente. 7. La Glorita 8. Loma Grande. 9. Parque Ecológico Reciclante. 10. La Esmeralda							11. Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel. 12. Parque Tecnológico Ambiental Antanas. 13. Los Corazones. 14. Parque Ambiental Palangana. 15. El Oasis. 16. Parque Ambiental Pigua. 17. Parque Ambiental Andalucía. 18. El Clavo 19. Los Picachos								
Potencial de Mitigación TOTAL	2.603.214 TnCO2eq		Costos Aproximados Implementación				42.430.930 USD									
			Costos Estudios, Permisos y Otros				2.123.822 USD									
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con sistema de recolección, quema y aprovechamiento eléctrico del metano. • Cantidad de metano quemado. • Cantidad de energía eléctrica generada. • Emisiones de CO2 evitadas por la quema de metano. • Emisiones de CO2 evitadas por aprovechamiento eléctrico. • No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrica. • Seguimiento y control de olores invasivos • Generación de empleos permanentes • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de captura, quema de metano y aprovechamiento eléctrico. 															
HOJA DE RUTA																
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología de aprovechamiento de biogás, sus requisitos técnicos y los productos que se pueden desarrollar a partir de su aprovechamiento. 2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental, y potencial de generación de CH4 del relleno respectivo para lograr el punto mínimo de explotación y aprovechamiento. 3. Revisión y actualización del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente. 4. Revisión y actualización Plan de gestión integral de residuos PGIR. 5. Consecución de recursos y financiación para la implementación. 6. Aseguramiento de los clientes que van a consumir el producto durante toda la vida del proyecto. 7. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión de interconexión eléctrica, o con la red de gas, inscripción ante la UPME o la CREG, según el caso). 8. MRV. 															
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	9. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación.															
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades Gobernanza	■	■	■	■			■				■				■	
Prefactibilidad y factibilidad					■	■	■	■								
Estructuración y licitación o equivalente									■	■						
Diseño, construcción y montaje											■	■	■	■		
Pruebas y puesta en operación															■	■

Tabla 77. Ficha Implementación Proyectos OAEB.

OAEB. Optimización del sistema de aprovechamiento de biogás captado existente.																	
CRITERIO PRIORIZACIÓN	Sitios con sistema de Aprovechamiento Existente																
SDF A IMPLEMENTAR	1. Doña Juana. 2. Parque Ambiental Loma de Los Cocos. 3. Parque Ambiental Los Pocitos																
Potencial de Mitigación TOTAL	1.342.840 TnCO ₂ eq	Costos Aproximados TOTALES				37.881.661 USD											
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con sistema de recolección de GV, quema y aprovechamiento eléctrico • Cantidad de metano quemado • Cantidad de energía eléctrica generada • Emisiones de CO₂ evitadas por la quema de metano • Emisiones de CO₂ evitadas por aprovechamiento eléctrico • No de hogares (equivalentes) beneficiados por el aprovechamiento eléctrica • Seguimiento y control de olores invasivos • Generación de empleos permanentes • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de captura, quema de metano y aprovechamiento eléctrico. • No de Kwh adicionales generados 																
HOJA DE RUTA																	
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilización y capacitación sobre la acción de mitigación OAEB. 2. Consecución de recursos y financiación para la implementación. 3. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos (gestión de interconexión eléctrica, o con la red de gas, inscripción ante la UPME o la CREG, según el caso, entre otras). 4. MRV 																
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	5. Elaboración de estudios de optimización e implementación																
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Actividades Gobernanza	■	■			■				■				■				
Prefactibilidad y factibilidad			■	■	■	■											
Estructuración y licitación o equivalente							■	■									
Diseño, construcción y montaje									■	■	■	■					
Pruebas y puesta en operación													■	■			

Tabla 78. Ficha Implementación Proyectos TM + OBC.

TM+ OBC. Optimización tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje.																	
CRITERIO PRIORIZACIÓN	Proyecto en marcha y áreas similares																
SDF A IMPLEMENTAR	1. Parque Ecológico Reciclante.																
Potencial de Mitigación TOTAL	156.558 TnCO2eq				Costos Aproximados TOTALES				515.447 USD								
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje, optimizados • Cantidad de RSU procesados • Cantidad de compostaje generado • Emisiones de CO2 evitadas por el TM y biocompostaje • Cantidad de RSM que se dejan de disponer en el vertedero por la acción de mitigación • Generación de empleos permanentes • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico y compostaje. 																
HOJA DE RUTA																	
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio detallado del proyecto, sus características técnicas y posibilidades de mejora. 2. Sensibilización y capacitación sobre tecnologías de aprovechamiento biológico aerobio, sus posibilidades de mejora y los productos que se pueden desarrollar a partir de implementar etapas como lombricultura. 3. Sensibilización sobre las ventajas de certificar un producto y proceso para lograrlo. 4. Consecución de recursos, si es necesario para amentar capacidad y calidad de procesamiento. 5. MRV 																
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	6. Plan de implementación del Proyecto optimizado.																
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Actividades Gobernanza	■	■	■				■				■					■	
Prefactibilidad y factibilidad				■	■	■	■	■									
Estructuración y licitación o equivalente									■	■							
Diseño, construcción y montaje											■	■	■	■			
Pruebas y puesta en operación															■	■	

Tabla 79. Ficha Implementación Proyectos TM + BC.

TM+BC Tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio de compostaje.																
CRITERIO PRIORIZACIÓN	Según Decreto 1784 de 2017 de menor a mayor categoría															
SDF A IMPLEMENTAR	1.Los Picachos 2. Parque Ambiental Andalucía 3. Parque Ambiental Pírgua. 4.El Oasis 5. Parque Tecnológico Ambiental Antanas 6. El Clavo 7.La Esmeralda 8. Los Corazones 9. Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel. 10. Parque Ambiental de Palangana.				11. Loma Grande 12. Regional Presidente. 13. El Carrasco. 14. La Glorita. 15. Parque Tecnológico Ambiental Guayabal. 17. Parque Ambiental Los Pocitos 17. Parque Ambiental Loma de Los Cocos. 18. Colombia El Guabal de Yotoco. 19. Nuevo Mondoñedo 20. Pradera. 21. Doña Juana											
Potencial de Mitigación TOTAL	3.823.992 tnCO2eq				Costos Aproximados Implementación								13.696.841 USD			
					Costos Estudios, Permisos y Otros								2.253.397 USD			
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aerobio y compostaje. • Cantidad de compostaje generado. • Cantidad de RSU procesado. • Cantidad de fertilizante líquido generado. • Emisiones de CO2 evitadas por el sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aeróbico y compostaje. • Cantidad de RSM que se dejan de disponer en el vertedero por la acción de mitigación • Generación de empleos permanentes. • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas. • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento mecánico o separación en fuente con tratamiento biológico aeróbico y compostaje. • Emisiones de CO2 evitadas por el reciclaje de los desechos sólidos (metales y escorias). 															
HOJA DE RUTA																
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología de compostaje, sus requisitos técnicos y los productos que se pueden desarrollar a partir de su aprovechamiento. 2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental. 3. Revisión del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente. 4. Revisión Plan de gestión integral de residuos PGIR. 5. Consecución de recursos y financiación para la implementación. 6. Aseguramiento de mercado para el producto durante toda la vida del proyecto. 7. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión para la certificación del producto; licencia de construcción ante planeación municipal.) 8. MRV. 															
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	9. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación															
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades Gobernanza	■	■	■	■				■					■			
Prefactibilidad y factibilidad					■	■	■	■								
Estructuración y licitación o equivalente									■	■						
Diseño, construcción y montaje													■	■	■	■
Pruebas y puesta en operación															■	■

Tabla 80. Ficha Implementación Proyectos WtF.

WtE. Tratamiento térmico Waste to Energy o termovalorización eléctrica																																
CRITERIO PRIORIZACIÓN	Según Decreto 1784 de 2017: categorías IV y III. - Vidal útil licenciada del SDF. - Ciudades con mayor cantidad de habitantes																															
SDF A IMPLEMENTAR	1. Doña Juana 2. Pradera. 3. El Carrasco 4. Colombia El Guabal de Yotoco. 5. Parque Ambiental Los Pocitos.	6. Parque Ambiental Loma de Los Cocos. 7. Nuevo Mondoñedo. 8. Parque Tecnológico Ambiental Guayabal. 9. Regional Presidente.	10. La Glorita. 11. Los Corazones. 12. Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel. 13. La Esmeralda.	14. Loma Grande. 15. Parque Ecológico Reciclante. 16. Parque Ambiental de Palangana. 17. El Clavo.																												
Potencial de Mitigación TOTAL	7.656.461 TnCO2eq		Costos Aproximados Implementación				6.330.872.264 USD																									
			Costos Estudios, Permisos y Otros				3.602.037 USD																									
INDICADORES (MRV)	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de vertederos con sistema de tratamiento térmico WtE (Termovaloración Eléctrica). • Cantidad de energía eléctrica generada. • Cantidad de residuos procesados. • Cantidad de cenizas generadas. • Cantidad de residuos de metales reciclados. • Cantidad de escoria recuperada. • Emisiones de CO2 evitadas por el sistema de tratamiento térmico WtE. • Emisiones de CO2 evitadas por el aprovechamiento eléctrico. • Emisiones de CO2 evitadas por el reciclaje de los desechos sólidos (metales y escorias). • Cantidad de RSM que se dejan de disponer en el vertedero por la acción de mitigación. • Generación de empleos permanentes. • Fortalecimiento de capacidades técnico-operativas. • Incremento de la formación (técnica / profesional) de los trabajadores internos. • Reducción de costos por generación de energía al interior del relleno. • No de capacitaciones impartidas sobre BP de manejo del sistema de tratamiento térmico WtE implementadas. 																															
HOJA DE RUTA																																
ACTIVIDADES GOBERNANZA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilización y capacitación sobre la tecnología WtE, sus requisitos técnicos y los productos que se obtener y comercializar al desarrollar el proyecto. 2. Revisión contrato operador del RS, licencia ambiental, 3. Revisión y actualización del Plan de ordenamiento territorial POT o su equivalente. 4. Revisión y actualización Plan de gestión integral de residuos PGIR 6. Consecución de recursos y financiación para la implementación. 7. Aseguramiento de los clientes que van a consumir el producto durante toda la vida del proyecto. 8. Coordinación y gestión ante los entes respectivos para la obtención de permisos y licencias de operación. (gestión de interconexión eléctrica, registro ante la UPME) 9. MRV. 																															
ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN	10. Elaboración de estudios de prefactibilidad, factibilidad e implementación																															
CICLO DEL PROYECTO	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4				AÑO 5				AÑO 6				AÑO 7							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Actividades Gobernanza	■	■	■	■									■								■								■			
Prefactibilidad y factibilidad					■	■	■	■	■																							
Estructuración y licitación o equivalente									■	■	■	■																				
Diseño, construcción y montaje													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Pruebas y puesta en operación																													■	■	■	■

14 Anexos

14.1 Anexo 1: Encuesta a los rellenos sanitarios

Encuesta NAMA de Residuos Sólidos Municipales de Colombia

La siguiente encuesta se orienta hacia la consecución de información sobre la disposición final de residuos sólidos en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en Colombia y en alineación con la Política Nacional de Cambio Climático, particularmente con la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono -ECDBC-, el Plan de Acción Sectorial de Mitigación para el subsector de Agua y Saneamiento del MVCT y su correlación con la Contribución Nacional Determinada -NDC- del 20% de reducción de Gases de Efecto Invernadero -GEI- al año 2030 pactado mediante la firma del Acuerdo de París.

Para este apartado, se ha estructurado la gestión de información relacionada con la caracterización de la disposición final de los residuos en los Sitios de Disposición Final -SDF- o Rellenos Sanitarios, en un primer apartado en términos generales, desde toneladas dispuestas al año, porcentajes de materiales conforme a la caracterización, cantidad de lixiviado producido y tratado, consumo de gas natural y generación de calor, entre otras.

Le queremos aclarar ante todo que el tratamiento de los datos y la información recopilada es entendida como de uso exclusivo del proyecto NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia y se reservarán todos los derechos de acceso y uso de esta información y su procesamiento.

Si le surge alguna inquietud al respecto de este formulario por favor contáctenos al número +57 3127475706 o a la dirección de correo electrónico colombia@lavola.com.

1. Nombre de la empresa
2. Nombre del operador
3. Nombre del relleno sanitario
4. Municipios atendidos
5. Profundidad media de los residuos (m) (Promedie la profundidad de la totalidad de las celdas)
6. ¿Tiene cobertura final?
7. Tipo de cobertura final
8. Aplica compactación a los residuos dispuestos
9. ¿Cuánta es la compactación aplicada a los residuos dispuestos? (t/m³)
10. ¿Cuál es la capacidad de diseño del relleno sanitario? (m³)
11. ¿Cuál es la capacidad disponible del relleno sanitario? (m³) (Al cierre del año 2019)
12. ¿Cuál es el tipo de relleno sanitario (mecanizado, semimecanizado, o manual)
13. ¿Cuántas fueron las toneladas dispuestas de residuos, año 2019? (t)
14. Para RS anteriores al año 2007, ¿Cuántas son las toneladas dispuestas desde inicio actividad hasta 2018? (t)
15. Escriba el porcentaje de caracterización de los residuos por tipo. Ejemplo: Comida (%), Vidrio (%), Metal (%), Plástico (%), Papel (%), Cartón (%), Textiles (%), Goma (%), Cuero (%), Residuos de jardín (%), Madera (%), Suciedad, cenizas, etc. (%), Otros inorgánicos (%)
16. Fecha de la caracterización (año)
17. ¿Cuenta con un sistema de drenaje de gases?
18. Cantidad de pozos verticales-chimeneas y el área en residuos
19. Cantidad de lixiviado generado en el 2019 (m³/año)
20. Cantidad de lixiviado recirculado en el 2019 (m³/año)
21. Cantidad de lixiviado tratado en el 2019 (m³/año)
22. Cantidad de lixiviado vertido en el 2019 (m³/año)
23. Consumo eléctrico anual en las instalaciones del relleno sanitario (MWh/año)
24. Consumo de gas natural en las instalaciones del relleno sanitario (m³/año)

25. Generación de calor en el relleno sanitario (MWh/año)
26. Señale las actividades complementarias a la disposición final implementadas en el relleno sanitario
 - a. Tratamiento mecánico biológico
 - b. Sistemas de captación, conducción y quema de biogás
 - c. Sistemas de manejo y aprovechamiento energético de biogás
 - d. Combustibles Derivados de Residuos – Generación de energía a partir de la incineración de residuos sólidos
 - e. Otros
27. Si seleccionó "Otros" en la pregunta anterior por favor indique la actividad complementaria
28. Indique las actividades complementarias a la disposición final que tienen proyectadas implementar en los próximos 5 años
29. Indique las fuentes de financiación previstas para la implementación de las actividades complementarias a la disposición final

Encuesta Tratamiento mecánico biológico

En este apartado, se abordan preguntas relacionadas con actividades complementarias a la disposición final haciendo énfasis en las tecnologías de Tratamiento Mecánico Biológico (en adelante TMB), que incluyen diferentes técnicas de degradación aerobia y anaerobia de la materia orgánica.

Le queremos aclarar ante todo que el tratamiento de los datos y la información recopilada es entendida como de uso exclusivo del proyecto NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia y se reservarán todos los derechos de acceso y uso de esta información y su procesamiento.

Si le surge alguna inquietud al respecto de este formulario por favor contáctenos al número +57 3127475706 o a la dirección de correo electrónico colombia@lavola.com.

1. Nombre del operador
2. Nombre del relleno sanitario
3. Nombre del proyecto
4. Breve descripción del proyecto de TMB
5. Estado del proyecto (Proyectado / prefactibilidad / factibilidad / construcción / ejecución)
6. Año de inicio
7. Vida útil planeada (años)
8. Coste de inversión (\$)
9. Coste de operación (\$/mes)
10. Cantidad de residuos tratados ()
11. Cantidad de materiales contaminantes separados ()
(Sustancias que representan un gran peligro para el medio ambiente, entre otras, los disolventes, aceites, sustancias químicas y sustancias explosivas o autoinflamables)
12. Cantidad de materiales obstaculizantes separados ()
(Materiales con un efecto negativo sobre la maquinaria utilizada o sobre la fase biológica del tratamiento y que estorban el desarrollo del proceso. Pueden ser materiales voluminosos, pesados o pegajosos, como por ejemplo: muebles o piedras grandes, pero también sustancias químicas inhibidoras de los microorganismos que actúan en la degradación biológica)
13. Cantidad de materiales reciclables separados ()

(Materiales para los que bajo las condiciones existentes se generan posibilidades de aprovechamiento. Se incluyen entre ellos cristales, papel, metales, plásticos de composición homogénea)

14. Cantidad de materiales de alto poder calorífico separados ()
(por ejemplo mezclas de plásticos y maderas, denominados fracción calorífica)
15. Cantidad de residuos orgánicos separados ()
16. ¿Se lleva acabo trituración/disgregación de la materia orgánica?
17. Tipo de fuente energética consumida (electricidad / gasoil / manual / otros combustibles)
18. Consumo energía proceso de trituración/disgregación (MWh o litros /año)
19. ¿Se lleva acabo homogeneización/regulación del contenido en agua?
20. Tipo de fuente energética consumida (electricidad / gasoil / manual / otros combustibles)
21. Consumo energía proceso de homogeneización/regulación del contenido en agua (MWh/año)
22. Breve descripción del proceso de homogeneización
23. Señalar el tipo de tratamiento/s biológico/s que se lleva/n a cabo
 - a. DEGRADACIÓN AERÓBICA EN EL RELLENO SANITARIO
 - b. DEGRADACIÓN AERÓBICA EN PILAS ESTÁTICAS CON AIREACIÓN PASIVA
 - c. DIGESTIÓN ANAEROBIA EN DIGESTOR
24. ¿Realiza degradación aeróbica en relleno sanitario?
25. Cantidad de materia orgánica a degradación aeróbica en RS ()
26. Consumo de energía eléctrica asociada a procesos de homogeneización/regulación agua/aireación (MWh/año)
27. Consumo de combustible asociado a procesos de homogeneización/regulación agua/aireación (MWh/año)
28. Indicar el tipo de combustible utilizado (electricidad / gasoil / manual / otros combustibles)
29. Área disponible (m²)
30. Cantidad de compost generado (t/año)
31. Uso del compost generado (disposición en RS / venta como compost / Otros usos)
32. Tratamiento final (sellado de terreno / recogida de lixiviados / captación, conducción y quema de biogás, sistemas de manejo y aprovechamiento energético del biogás / otros)
33. Reducción de GEI (t CO₂ eq/año)
34. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
35. ¿En qué mercado son vendidos? (país)

36. ¿Realiza DEGRADACIÓN AERÓBICA EN PILAS ESTÁTICAS CON AIREACIÓN PASIVA?
37. Cantidad de materia orgánica a degradación aeróbica en pilas (t/año)
38. Consumo de energía eléctrica asociada a procesos de aireación/ventilación (MWh/año)
39. Consumo de combustible asociado a procesos de aireación/ventilación (MWh/año)
40. Indicar el tipo de combustible utilizado (electricidad / gasoil / manual / otros combustibles)
41. Área disponible (m²)
42. Cantidad de compost generado (t/año)
43. Uso del compost generado (disposición en RS / venta como compost / Otros usos)
44. Tratamiento final (sellado de terreno / recogida de lixiviados / captación, conducción y quema de biogás, sistemas de manejo y aprovechamiento energético del biogás / otros)
45. Reducción de GEI (t CO₂ eq/año)
46. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
47. ¿En qué mercado son vendidos? (país)

48. ¿Utiliza DIGESTIÓN ANAEROBIA EN DIGESTOR?
49. Cantidad de materia orgánica a digestión anaerobia (t/año)
50. Consumo de energía eléctrica asociada al digestor (MWh/año)
51. Consumo de combustible asociado al digestor (MWh/año)
52. Indicar el tipo de combustible utilizado (electricidad / gasoil / otros combustibles)
53. Cantidad de biogás recolectado del digestor (m³/año)
54. ¿Dispone de sistema de conducción y quema de biogás?
55. ¿Dispone de sistemas de manejo y aprovechamiento energético del biogás
56. Cantidad de digestato generado (t/año)
57. Cantidad de compost generado (t/año)
58. Uso del digestato generado (venta como fertilizante / otros usos)
59. Uso del compost generado (disposición en RS / venta como compost / Otros usos)
60. Reducción de GEI (t CO_{2eq}/año)
61. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
62. ¿En qué mercado son vendidos? (país)

63. ¿Realiza TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS RESIDUOS?
64. Cantidad de residuos a tratamiento térmico (t/año)

Encuesta Sistemas de Captación, conducción y quema de biogás

En este apartado, se abordan preguntas relacionadas con los Sistemas de Captación, Conducción y Quema del Biogás (en vertederos y chimeneas).

Le queremos aclarar ante todo que el tratamiento de los datos y la información recopilada es entendida como de uso exclusivo del proyecto NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia y se reservarán todos los derechos de acceso y uso de esta información y su procesamiento.

Si le surge alguna inquietud al respecto de este formulario por favor contáctenos al número +57 3127475706 o a la dirección de correo electrónico colombia@lavola.com.

1. Nombre del operador
2. Nombre del relleno sanitario
3. Nombre del proyecto
4. Breve descripción del proyecto
5. Estado del proyecto (Proyectado / prefactibilidad / factibilidad / construcción / ejecución)
6. Año de inicio
7. Vida útil planeada (años)
8. Coste de inversión (\$)
9. Coste de operación (\$/mes)
10. Cantidad de residuos tratados en el 2019 (t/año)
11. Volumen de biogás captado en el 2019 (m³/año)
12. Volumen de biogás quemado en el 2019 (m³/año)
13. Consumo energético sistema de captación, conducción, impulsión y regulación de biogás (MWh/año)
14. Sistema de quema directa de biogás (antorcha abierta / antorcha cerrada)
15. Metano en el biogás (%)
16. Eficiencia de combustión (%)
17. Reducción de GEI (t CO_{2eq}/año)

18. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
19. ¿En qué mercado son vendidos? (país)
20. ¿Hacen seguimiento a la disminución de contaminación con aromáticos, cetonas y halogenados, mediante la técnica de quema del biogás?
21. Contaminación por aromáticos, cetonas y halogenados evitada /año (t/año)
22. ¿Existe protocolo de seguimiento y contingencia a las temperaturas de quema del biogás?

Encuesta Sistemas de manejo y aprovechamiento energético del biogás

En este apartado, se abordan preguntas relacionadas con los Sistemas de Manejo y Aprovechamiento Energético del Biogás que abarcan los usos posibles de biogás como combustible al interior y al exterior del SDF, para la generación de energía eléctrica al interior y al exterior del SDF, para abastecer un gasoducto, entre otras alternativas en estudio.

Le queremos aclarar ante todo que el tratamiento de los datos y la información recopilada es entendida como de uso exclusivo del proyecto NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia y se reservarán todos los derechos de acceso y uso de esta información y su procesamiento.

Si le surge alguna inquietud al respecto de este formulario por favor contáctenos al número +57 3127475706 o a la dirección de correo electrónico colombia@lavola.com.

1. Nombre del operador
2. Nombre del relleno sanitario
3. Nombre del proyecto
4. Breve descripción del proyecto
5. Estado del proyecto (Proyectado / prefactibilidad / factibilidad / construcción / ejecución)
6. Año de inicio
7. Vida útil planeada (años)
8. Coste de inversión (\$)
9. Coste de operación (\$/mes)
10. Cantidad de residuos tratados (t/año)
11. Volumen de biogás captado (m³)
12. Metano en el biogás (%)
13. Uso del biogás
 - a. Como combustible dentro del relleno sanitario
 - b. Generación energía eléctrica dentro del relleno sanitario
 - c. Como combustible fuera del relleno sanitario
 - d. Como energía eléctrica fuera del relleno sanitario
 - e. Gaseoductos o gas natural vehicular
 - f. Estudio de alternativas
14. Actividades de limpieza y enriquecimiento (descripción)
15. Consumo energético asociado al sistema de manejo y aprovechamiento (MWh/año)
16. Energía generada por el aprovechamiento del biogás (MWh/año)
17. Reducción de GEI (ton CO_{2eq}/año)
18. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
19. ¿En qué mercado son vendidos? (país)

Encuesta Combustibles Derivados de Residuos Generación de energía a partir de la incineración de residuos sólidos

Le queremos aclarar ante todo que el tratamiento de los datos y la información recopilada es entendida como de uso exclusivo del proyecto NAMA de Residuos Sólidos Municipales para Colombia y se reservarán todos los derechos de acceso y uso de esta información y su procesamiento.

Si le surge alguna inquietud al respecto de este formulario por favor contáctenos al número +57 3127475706 o a la dirección de correo electrónico colombia@lavola.com.

1. Nombre del operador
2. Nombre del relleno sanitario
3. Nombre del proyecto
4. Breve descripción del proyecto
5. Estado del proyecto (Proyectado / prefactibilidad / factibilidad / construcción / ejecución)
6. Año de inicio
7. Vida útil planeada (años)
8. Coste de inversión (\$)
9. Coste de operación (\$/mes)
10. Cantidad de residuos coincinerados (t/año)
11. Escriba el porcentaje de Caracterización de los residuos coincinerados (%). Ejemplo: Plásticos (%), Aceites (%), Textiles (%), Llantas (%), Lodos (%), Otros (%)
12. Si respondió otros en la pregunta anterior, mencione cuales:
13. Tipo de industria que utilizará el combustible
 - a. Cementera
 - b. Producción de cal
 - c. Producción de acero
 - d. Generación de electricidad
 - e. Autoconsumo en el RS
 - f. Otras
14. Distancia a la que se encuentra la industria destinataria del RDF (Km)
15. Consumo energético fase tratamientos previos: cribado, clasificación y separación de diferentes componentes y triturado (MW/h)
16. Indicar el tipo de combustible utilizado (electricidad / gasoil / otros)
17. Energía generada (MWh/año)
18. Eficiencia de combustión (%)
19. Reducción de GEI (ton CO_{2eq}/año)
20. ¿Genera certificados de reducción de emisiones?
21. ¿En qué mercado son vendidos? (país)

14.2 Anexo 2. Respuesta de los rellenos sanitarios a la encuesta

Documento que contiene los resultados de la encuesta de los operadores (carpeta ANEXOS, Anexo 2).

14.3 Anexo 3. Grandes Operadores del servicio de aseo en Colombia: casos Veolia e Interaseo

Caso Veolia en Colombia

Veolia es una compañía que hace presencia en 50 países a nivel mundial, destacando como líder en servicios medioambientales y en el desarrollo e implementación de sofisticadas tecnologías para la protección ambiental. En la ciudad de Cúcuta opera desde el año 2000, genera unos 900 Empleos anualmente y tiene apuestas de transformación para el tratamiento de los residuos en esta subregión. El inicio de su operación abarcó los servicios de barrido, recolección, transporte de residuos sólidos entre otras, a través de las organizaciones filiales Proactiva Oriente S.A. E.S.P. y Aseo Urbano S.A. E.S.P.

Así mismo, Veolia suscribió el contrato para el diseño, construcción y operación del relleno sanitario Guayabal, que entró en operación en el año 2001 y al presente acoge el 85% de los residuos de los municipios de Norte de Santander, opera bajo altos estándares de calidad que le han posicionado como Centro Tecnológico, reconocido como modelo de Gestión de Residuos sólidos^[1] y como referente de manejo eficiente de residuos a nivel nacional e internacional.

Entre 2002 y 2004, Veolia extendió su accionar hacia los residuos peligrosos por un lado y hacia la cobertura metropolitana por otro lado. La empresa en su portafolio de servicios ha incluido además de su experiencia y profesionales, la tecnología y las instalaciones para el tratamiento y disposición de los residuos tanto domésticos como industriales. De igual forma se ha desarrollado una estrategia de fortalecimiento de la cultura ciudadana y la educación para promover el reciclaje y la reutilización, materializada en programas como el denominado “Guardianes Ambientales” dirigido a población infantil de instituciones educativas con enfoque al cuidado y conservación de la naturaleza y el ambiente; y el programa “Academia de Líderes” que tiene por objeto brindar herramientas a estos representantes sociales para llevar a cabo su labor desde criterios técnicos asociados con el conocimiento instalado en las experiencias del gremio y la operación del servicio. Recientemente han incursionado en la operación de las Estaciones de Clasificación y Almacenamiento (ECA) con el objeto de aplicar prácticas de economía circular desde la premisa que los residuos de alguien se convierten en los ingresos de alguien más y por ende existe un crecimiento real de la economía a través del reciclaje.

Fuente: Revista Semana Ed.12-01-2019

Caso Interaseo Latinoamérica

Interaseo S.A.S. E.S.P. surgió como respuesta a la emergencia sanitaria declarada en la ciudad de Santa Marta a finales del siglo anterior, en cuyo caso el gobierno distrital entregó la administración del servicio de aseo a un actor privado mediante licitación pública en reconocimiento de las capacidades técnicas y a la experiencia presentada por el grupo de ingenieros de la compañía Termotécnica Coindustrial en la prestación de servicios públicos, y particularmente en el diseño, construcción y manejo de los rellenos sanitarios de Santa Marta y Curva de Rodas en Medellín.

Tras la consolidación de la prestación del servicio de aseo en Santa Marta, la empresa llevó a cabo una política de expansión de sus servicios a otras regiones del país e incluso al nivel internacional, brindando hoy día cobertura en las ciudades de Barranquilla, Bogotá, Cali, Ciénaga, Galapa, Ibagué, Maicao, Malambo, Medellín, Pereira, Riohacha, Sincelejo, Soledad, Sucre y Valledupar, así como en otros países, casos de Panamá, Perú, Chile, El Salvador, Honduras y Ecuador. Actualmente se ha consolidado una infraestructura considerable a nivel nacional e internacional, generando unos 1.400 empleos directos y más de 600 indirectos.

Entre los equipos para la operación establecida con rutas y frecuencias, en los componentes y actividades de recolección de residuos, barrido manual y mecánico, así como el transporte hasta el sitio de disposición final, se han inventariado vehículos compactadores, volquetas, cargadores, roll-off, ampliroll, barredoras mecánicas, retroexcavadoras, buldózer, vehículos de supervisión, plantas de separación electromecánicas y equipos de monitoreo ambiental.

De la misma manera, su experiencia y nivel técnico han permitido el diseño, construcción y operación de los sitios de disposición final de residuos sin incurrir en riesgos a la salud pública, a través del control de los impactos ambientales haciendo uso de principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos en un área mínima, control de gases, lixiviados y cobertura final.

La empresa ha dotado instalaciones para plantas de tratamiento con el fin de seleccionar y separar los residuos potencialmente convertibles en materia prima útil, recuperar dichos materiales y reintegrarles al ciclo económico y productivo eficientemente.

Fuente: INTERASEO S.A.S E.S.P. (2012-2020)

14.4 Anexo 4. Manual del Fondo Territorial de Cambio Climático

Documento que contiene la descripción, estructura organizacional y de operación del Fondo Territorial de Cambio Climático, instrumento diseñado para financiar la NAMA de Residuos Sólidos Municipales de Colombia (carpeta ANEXOS, Anexo 4).

14.5 Anexo 5. Respuesta de taller Co-beneficios

En este anexo se encuentran los resultados del taller de Co-beneficios ejecutados con operadores de rellenos sanitarios (carpeta ANEXOS, Anexo 5).

14.6 Anexo 6. Escenarios NAMA RSM

Em este anexo se encuentran las matrices de cálculo para las proyecciones de emisiones para la NAMA RSM (carpeta ANEXOS, Anexo 6).

Y, a continuación, se presentan los factores de emisión para los escenarios de la NAMA RSM

Factores de emisión para los modelos de Escenarios NAMA RSM

Factores de emisión para las opciones de tratamiento de residuos no reciclables					
		BAU	ESC 1	ESCE 2	ESC 3
Quema a cielo abierto de residuos dispersos					
Carbono fósil en residuos dispersos		11,2%	11,2%	11,2%	11,2%
CO2 emitido a través de quema a cielo abierto		412,5	412,5	412,5	412,5 % residuos húmedos
					412,5 kg CO2-eq/t
Relleno sanitario					
Cálculo de los gases de relleno formado					
Carbono regenerativo en los residuos del relleno		15,1%	15,1%	15,1%	15,1%
Carbono degradado y liberado			50%		% carbono
Contenido de metano en el gas del relleno			55%		Vol%
Cantidad de gas del relleno por tonelada de residuos		141,3	141,3	141,3	141,3
					m ³ /t residuo
rellenos no administrados					
Cantidad de gas difuso del relleno		141,3	141,3	141,3	141,3
					m ³ /t residuo
Cantidad de metano emitido al aire		1387,7	1387,7	1387,7	1387,7
					kg CO2-eq/t
relleno administrado					
Gas recolectado del relleno		45,2	56,5	56,5	56,5
					m ³ /t residuo
Del cual no es tratado solo ventilado		0,0	0,0	0,0	0,0
					m ³ /t residuo
Cantidad de metano difuso		52,8	46,6	46,6	46,6
					m ³ CH4/t residuo
El cual es oxidado para CO2 en cobertura de la capa		5,3	4,7	4,7	4,7
					m ³ CH4/t residuo
Cantidad total de emisiones de metano en kg		34,0	30,0	30,0	30,0
					m ³ CH4/t residuo
Cantidad total de metano en CO2-eq		849,3	749,3	749,3	749,3
					kg CO2-eq/t
Gas quemado recolectado del relleno		45,2	45,2	45,2	45,2
					m ³ /t residuo
Gas recolectado del relleno para CHP		0,0	11,3	11,3	11,3
					m ³ /t residuo
Comprobación de totales del gas recolectado del relleno		correct	correct	correct	correct
Eficiencia eléctrica neta CHP			30%		%
Producción promedio de electricidad		0,0	18,7	18,7	18,7
					kWh/t residuo
Demanda eléctrica del relleno sanitario	2,0		0,3		
					kg CO2-eq/t
Demanda de energía térmica del relleno sanitario	0,4		0,1		
					kg CO2-eq/t
Demanda de energía mecánica del relleno sanitario	3,1		3,1		
					kg CO2-eq/t
Emisiones totales		852,8	752,9	752,9	752,9
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas de la producción de electricidad		0,0	3,0	3,0	3,0
					kg CO2-eq/t
incineración - Incineración de Residuos Sólidos Municipales					
Cálculo de emisiones					
Carbono fósil en residuos no reciclables		11,2%	11,2%	11,2%	11,2%
CO2 a través de incineración		412,5	412,5	412,5	412,5
					kg CO2/t residuo
Valor calorífico de residuos no reciclables		2747	2747	2747	2747
					kWh/t residuo
Electricidad neta producida		0,0	0,0	412,1	412,1
					kWh/t residuo
Beneficio por la producción de electricidad		0,0	0,0	67,2	67,2
					kg CO2-eq/t
Calor neto producido		0,0	0,0	0,0	0,0
					kWh/t residuo
Beneficio por la producción de calor		0,0	0,0	0,0	0,0
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas de la incineración		0,0	0,0	67,2	67,2
					kg CO2-eq/t
BS + relleno					
Demanda de energía mecánica del relleno sanitario	8,9		9,0		
					kg CO2-eq/t
Demanda de electricidad del relleno sanitario	2,0		0,3		
					kg CO2-eq/t
Carbono regenerativo en los residuos del relleno		10,6%	10,6%	10,6%	10,6%
					% residuo húmedo
Carbono degradado y liberado			30%		% carbono
Cantidad de gas difuso del relleno		59,3	59,3	59,3	59,3
					m ³ /t residuo
Emisiones de metano al aire		582,8	582,8	582,8	582,8
					kg CO2-eq/t
Emisiones totales		592,1	592,1	592,1	592,1
					kg CO2-eq/t
MBT + tratamiento adicional + relleno					
Emisiones totales MBT					
2.6% metales ferrosos para reciclaje			0,6		
					kg CO2-eq/t
0.2% metales no ferrosos para reciclaje			1,4		
					kg CO2-eq/t
3.4% impurezas para incineración			12,3		
					kg CO2-eq/t
32% salida al relleno			4,7		
					kg CO2-eq/t
37.7% combustible derivado (RDF) para co-incineración en horno de cemento			262,9		
					kg CO2-eq/t
Emisiones totales		309,5	309,5	309,5	309,5
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas del reciclaje de metales			76,8		
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas en la planta de incineración de incineración			10,1		
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas de la co-incineración RDF			503,9		
					kg CO2-eq/t
Total de emisiones evitadas		590,9	590,9	590,9	590,9
					kg CO2-eq/t
MBS/MPS + co-procesamiento en horno de cemento					
Emisiones totales MBS/MPS					
2.6% metales ferrosos para reciclaje			0,6		
					kg CO2-eq/t
0.2% metales no ferrosos para reciclaje			1,4		
					kg CO2-eq/t
6.9% impurezas para incineración			24,9		
					kg CO2-eq/t
11.6% salida al relleno			1,7		
					kg CO2-eq/t
51.8% combustible derivado (RDF) para co-incineración			361,3		
					kg CO2-eq/t
Emisiones totales		432,3	432,3	432,3	432,3
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas del reciclaje de metales			76,8		
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas en la planta de incineración de incineración			20,5		
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas de la co-incineración RDF			692,4		
					kg CO2-eq/t
Emisiones evitadas de la co-incineración		789,8	789,8	789,8	789,8
					kg CO2-eq/t

14.7 Anexo 7. Cálculos línea base y escenario BAU

En este anexo se encuentran las matrices de cálculo de la línea base de emisiones de los rellenos sanitarios incluidos en la NAMA y el escenario tendencial (BAU) Business as Usual (carpeta ANEXOS, Anexo 7).

14.8 Anexo 8. Socializaciones locales y regionales NAMA RSM Colombia

En este anexo se encuentran las presentaciones, actas y resultados de las socializaciones locales y regionales llevadas a cabo en el marco de la NAMA RSM de Colombia (carpeta ANEXOS, Anexo 8).

14.9 Anexo 9. Cuadro de control del sistema MRV de la NAMA RSM

En este anexo se encuentran el cuadro de control con los indicadores del sistema MRV de la NAMA RSM de Colombia (carpeta ANEXOS, Anexo 9).

14.10 Anexo 10. Gráficos y tablas capítulo 11

En este anexo se encuentran gráficas, imágenes y documentos Excel de trabajo relativos al capítulo 10 (carpeta ANEXOS, Anexo 10).

15 Glosario de términos

- **RGV + Q:** Código que identifica la tecnología de recolección de gases (biogás) y su quema en un sitio de disposición final.
- **RGVQ + AE:** Código que identifica la tecnología de aprovechamiento del biogás captado en los rellenos sanitarios.
- **OAEB:** Código que identifica la optimización de un sistema existente de aprovechamiento del biogás en un relleno sanitario.
- **TM + OBC:** Código que identifica la optimización de un sistema existente de tratamiento mecánico o separación en la fuente con etapa posterior de tratamiento biológico de compostaje.
- **TM + BC:** Código que identifica la tecnología de tratamiento mecánico o separación en la fuente seguida de un proceso de tratamiento biológico de compostaje.
- **WtE:** Código que identifica la tecnología de tratamiento térmico de residuos sólidos municipales con aprovechamiento energético por incineración.

16 Bibliografía

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2011). Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011-2023 Documento Técnico Línea de Intervención Calidad de Agua y Saneamiento Básico. Secretaría Distrital de Salud, Bogotá D.C.

ANDESCO (2020). Rellenos Sanitarios: otra cara de la moneda.

ANDI (2018). Colombia: Balance 2018 y perspectivas 2019.

ANDI (2019). Colombia: Balance 2019 y perspectivas 2020.

ARIAS DUQUE, D.A. (2019). Propuesta para el aprovechamiento de residuos sólidos en el marco de la prestación del servicio de aseo para el municipio de Trujillo – Valle del Cauca. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.

Asociación Ambiente y Sociedad (2016). Mercado Voluntario de Carbono en Colombia. Bogotá D.C.

Biogas Doña Juana (2020). “Nuestro proyecto MDL”.

CASAS BELLO, E.A. (2013). Análisis de costos de transporte en la disposición final de residuos sólidos domiciliarios para empresas de servicios públicos domiciliarios. Bogotá D.C.

CONPES (2016). Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá.

CRA (2019). Diagnóstico e identificación de problemas, objetivos y alternativas Documento de avance Análisis de Impacto Normativo – AIN. Proyecto: Reconocimiento de la obligatoriedad de contar con sistemas de extracción, captura activa y pasiva para el manejo de gases en rellenos sanitarios dentro de las tarifas del servicio público de aseo. Bogotá D.C.

Davies, A. R. (2008). The Geographies of Garbage Governance: Interventions, Interactions And. USA: Ashgate Publishing Company.

DNP-CONPES (2016). Documento CONPES 3874 DE 2016. Bogotá.

DNP (2017). Colombia y el Fondo Verde del Clima – Taller colombiano sobre la formulación de proyectos para el fondo verde del clima (FVC). Comité de Gestión Financiera SISCLIMA, Colombia, Bogotá D.C.

DOBÓN OLIVER, B. (2018). Materiales de construcción reciclados y reutilizados para la arquitectura sostenible. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Valencia.

DORIA SERRANO, M. C. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas. Universidad Iberoamericana. Educ. quím vol.20 no.4. ISSN 0187-893X. México.

El Tiempo (2020). La energía renovable alcanza los 11,5 millones de empleos en el mundo, de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/la-energia-renovable-alcanzan-los-11-5-millones-de-empleos-en-el-mundo-540516>

ESPINOSA LL.M.C., LÓPEZ T.M., PELLÓN A.A., Fernández García L.A., Hernández Castro C., Bataller Venta M. (2007). Lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Centro de Investigaciones del Ozono, Ciudad de La Habana, Cuba.

FERNÁNDEZ MUERZA, A. (2006). Contaminación por lixiviados. Consumer. Madrid.

FLORES C.O., GARCÍA L.S., GARCILAZO S.A., PONCE A.A., VALDERRAMA B.D., YUPANQUI C.V. (2015). Efecto de la recirculación de lixiviados sobre las propiedades físicas y químicas de los residuos sólidos urbanos sometidos a digestión anaeróbicos, aeróbicos y agitación. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad César Vallejo, Lima.

GCF, GOBIERNO DE COLOMBIA (2017). Estrategia de País para acceso a los recursos del Fondo Verde del Clima. APC, Cancillería, DNP, MADS, MHCP.

GIRALDO LÓPEZ, J. (25 de abril de 2018). “Pepsico hizo una alianza para convertir los empaques de papas fritas en biocombustible”. La República/Responsabilidad social. Bogotá D.C.

- GIZ (2017). Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos. Guía para los responsables de la toma de decisiones en países en vías de desarrollo y emergentes. Bonn.
- GRANDA CORTÉS, L.Á. (2014). Propuesta de mejora a la disposición final de basuras del municipio de Remedios- Antioquia. FAEDIS. Programa de Ingeniería Civil. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2006). Dirección de licencias, permisos y tramites. Términos de referencia - Sector de Infraestructura - Estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de rellenos sanitarios. Bogotá. D.C.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2016). Política para la gestión sostenible del suelo. Bogotá, D.C.: Colombia. 94 p. ISBN: 978-958-8901-24-4.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998). Política para la Gestión Integral de Residuos. Bogotá.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2017). Potencial de mitigación de Gas Efecto Invernadero – GEI del sector minero-energético. Bogotá D.C.
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL – ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (2012). Lineamiento para la vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas. Bogotá.
- MINVIVIENDA (2017). Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de Residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia. Bogotá D.C.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2020). Manejo ambiental para el control de vectores. Agua, saneamiento y salud (ASS).
- Petroquimex (2019). A nivel mundial las energías renovables generaron 11 millones de empleos en 2018 de <https://petroquimex.com/a-nivel-mundial-las-energias-renovables-generaron-11-millones-de-empleos-en-2018/>
- PORTAFOLIO (2008). “Alta participación en el PIB”. Economía - finanzas.
- PULIDO, A. (2019). Presentación propuesta de extensión de la vida útil del Relleno Sanitario Doña Juana. Asociación Sostenibilidad, equidad y derechos ambientales ENDA América Latina. Bogotá D.C.
- REYES MEDINA, M. (2015). Lixiviados en plantas de residuos, una contribución para la selección del proceso de tratamiento. Departamento de Física Aplicada. Universitat Politècnica de València.
- Ryfisch, D. J. (2017). Información y Guía sobre NAMAs - Habilitando la implementación de NDCs a través de NAMAs.
- SSPD-DNP (2017a). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos -2016. Bogotá.
- SSPD-DNP (2017b). Informe Nacional de Aprovechamiento -2016. Bogotá.
- SSPD-DNP (2018). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos -2017. Bogotá.
- SSPD-DNP (2019). Informe de Disposición Final de Residuos - 2018. Bogotá.
- STRELHE, E. (2019). NAMA Residuos Sólidos para la República Dominicana. Metodología y Proceso de Formulación de la NAMA. GIZ – Consejo Nacional para el Cambio Climático y MDL, Presidencia de la República Dominicana. Pp. 6-8.
- UN-HABITAT (2010). Solid waste management in the world’s cities: Water and sanitation in the world’s cities 2010. Londres.
- UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (2019). Restauración Ecológica. Periódico Doña Juana. Bogotá D.C., noviembre - diciembre de 2019. Publicación bimestral. ISSN 2462-8182. No 30.
- UNIDAD DE PLANIFICACIÓN MINERO ENERGÉTICA (2002). Guía ambiental minería de carbón a cielo abierto. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Bogotá D.C.

UNIDAD DE PLANIFICACIÓN MINERO ENERGÉTICA - INERCO (2018). Valorización energética de residuos: proyecto WTE Colombia. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Bogotá D.C.

Weibust, I. &. (2014). Multilevel environmental governance: managing water and climate change in Europe and North America. Edward Elgar Publishing.

WRS (2016). MRV 101: Understanding measurement, reporting and verification of climate change mitigation. Working Paper. World Resources Institute- WRS.

ZULUAGA MEZA, A. (2019). Evaluación del tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios mediante cavitación hidrodinámica, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales.

T +34 938 515 055
info@lavola.com
www.lavola.com
www.anthesisgroup.com

