Propuesta Metodológica para la Implementación de un Mecanismo de Desarrollo Limpio en un Relleno Sanitario Tipo I en Colombia.

Autores

Cindy Johanna Mesa Silva 20132185026

Juliana Mora Lancheros 20132185050

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Administración ambiental

Bogotá D.C

Febrero, 2019

Propuesta Metodológica para la Implementación de un Mecanismo de Desarrollo Limpio en un Relleno Sanitario Tipo I en Colombia.

Autores

Cindy Johanna Mesa Silva 20132185026

Juliana Mora Lancheros 20132185050

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Administradoras Ambientales en la modalidad de investigación

Director

Carlos Díaz Rodríguez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Administración Ambiental

Bogotá D.C

Febrero, 2019

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del Presidente del Jurado

_____

Firma Jurado

_____

Firma Jurado

Bogotá, febrero 8 de 2019

Contenido

Introducción 1

Planteamiento del problema 3

Justificación 8

Objetivos 9

1.1. General 9

1.2. Específicos 9

Marco referencial 10

1.3. Marco Teórico 10

1.3.1. Mecanismo De Desarrollo Limpio. 10

1.3.2. Rellenos Sanitarios. 13

1.3.3. Biogás 20

1.3.4. Flujo de Caja 22

1.3.5. Estudio de Impacto Ambiental 23

1.4. Marco contextual 24

1.4.1. Experiencias Internacionales 24

1.4.2. MDL en Colombia. 25

1.5. Marco legal 31

Metodología 36

1.6. Tipo de investigación 36

1.7. Plan general de la investigación 37

Resultados 39

1.8. Capítulo 1: Descripción de experiencias nacionales e internacionales para estructuración de un MDL en rellenos sanitarios 39

1.9. Capítulo 2: Análisis de las cuestiones técnicas y ambientales 47

1.9.1. Cuestiones Técnicas 47
1.9.2. Línea base 52
1.9.3. CER 81
1.9.4. Cuestiones ambientales 82
1.10. Capítulo 3. Análisis costo/beneficio de la estructuración del mecanismo de desarrollo limpio. 100
1.11. Capítulo 4. Propuesta Metodológica para la Implementación de Mecanismos de Desarrollo Limpio en un Relleno Sanitario Tipo I en Colombia. 103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 104
BILBIOGRAFIA 106

Listado de tablas

Tabla 1: Proyección de la producción mundial de residuos por regiones para 2025. 3

Tabla 2: Composición de biogás en rellenos sanitarios. 5

Tabla 3: Distribución sistemas de disposición final en Colombia. 16

Tabla 4: Clasificación rellenos sanitarios en Colombia. 17

Tabla 5: Promedio toneladas/día dispuestas por rellenos sanitarios a nivel nacional 19

Tabla 6: Descripción biogás 21

Tabla 7: MDL por departamento. 288

Tabla 8: Metodologías MDL implementadas por los rellenos sanitarios en Colombia 31

Tabla 9: Normas nacionales relacionadas con rellenos sanitarios. 31

Tabla 10: Metodología de investigación 37

Tabla 11: Comparación proyectos MDL a escala internacional. 455

Tabla 12: Hallazgos obtenidos 46

Tabla 13: MDL de pequeña escala. 49

Tabla 14: Valores para el factor de corrección del modelo. 59

Tabla 15: Parámetros de selección factor de corrección por defecto $MCF_{default}$. 622

Tabla 16: Composición de los residuos del relleno sanitario. 64

Tabla 17: Valores por defecto para $\boldsymbol{DOC_j}$. 655

Tabla 18: Valores de la tasa de decaimiento $\boldsymbol{K_j}$. 66

Tabla 19: RSU dispuesto en el relleno sanitario 69

Tabla 20: Línea base de emisiones. 70

Tabla 21: Caracterización gases del relleno sanitario. 72

Tabla 22: Resumen de variables para el cálculo de los gases residuales. 75

Tabla 23: Proyección de emisiones anuales. 77

Tabla 24: Reducción de emisiones. 80

Tabla 25: Componentes EIA. 83

Tabla 26: Etapas y actividades sin proyecto. 84

Tabla 27: Clasificación de los impactos. 91

Tabla 28: Criterios de cuantificación 93

Tabla 29: Importancia impactos escenario sin proyecto. 98

Tabla 30: Importancia impactos escenario con proyecto. 99

Tabla 31: Sistema de generación de energía 102

Tabla 32: Indicadores de sensibilidad 102

Listado de gráficas

Gráfica 1: MDL´s por sector. 30

Gráfica 2: Proyección de residuos sólidos relleno sanitario. 6868

Listado de figuras

Figura 1: Tipos y cantidad de sistemas de disposición final. 18

Figura 2: Cantidad dispuesta por sistema. 20

Figura 3: Proyectos de aprovechamiento de biogás en Estados Unidos. 25

Figura 4: Procesamiento metano para uso. 40

Figura 5: Tratamiento de gestión de residuos. 41

Figura 6: Municipio de Bojacá 51

Figura 7: Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. 53

Figura 8: Distribución vasos relleno sanitario Mondoñedo 54

Figura 9: Vista general matriz causa-efecto sin proyecto. 889

Figura 10: Vista general matriz causa-efecto con proyecto. 900

Listado de anexos

Anexo 1. Consideraciones para la formulación de un MDL.

Anexo 2. Consideraciones ambientales**.**

Anexo 3. Propuesta metodológica.

Abreviaturas

RSU Residuos Sólidos Urbanos

MDL Mecanismo de Desarrollo Limpio

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change

GEI Gases de Efecto Invernadero

CRE- CER Certificado de Reducción de Emisiones

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

CER Reducciones Certificadas de las Emisiones

CO_2 Dióxido de Carbono

CH_4 Metano

OPS Organización Panamericana de la Salud

VPN Valor Presente Neto

TIR Tasa Interna de Retorno

TIO Tasa Interna de Oportunidad

EIA Estudio de Impacto Ambiental

EPA Agencia de Protección Ambiental de Estado Unidos

CRA Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

Introducción

El gas producido en los rellenos sanitarios y otros biogases generados a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU) contienen metano, denominado CH_4, un potente gas de efecto invernadero que puede ser capturado y utilizado como combustible renovable para muchos usos finales incluyendo plantas de energía, instalaciones de fabricación y vehículos. Los rellenos sanitarios de RSU son la tercera fuente de emisiones de metano relacionadas con el hombre en Estados Unidos, representando aproximadamente el 15,4 por ciento de estas emisiones en 2015. Al mismo tiempo, las emisiones de metano de los rellenos sanitarios representan una oportunidad perdida de capturar y utilizar un recurso energético significativo. (EPA, s.f.)

En lugar de escapar al aire, el gas puede ser capturado, convertido y utilizado como fuente de energía. Varias opciones están disponibles para convertir el biogás en energía como: generación de energía eléctrica, cogeneración, uso directo, combustibles alternativos, entre otros. En el presente análisis se tendrán en cuenta únicamente proyectos desarrollados a escala mundial relacionados con la generación de energía eléctrica.

Los rellenos sanitarios en Colombia para el 2015, disponían del 81% de los RSU, entre los demás sistemas de disposición de residuos es el sistema de preferencia para su disposición (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS, 2017). Los rellenos sanitarios se encuentran reglamentados para su clasificación según el Acuerdo CRA 720 de 2015, en cuyo artículo 29 establece las tarifas según el tipo de rellenos sanitario, y esta clasificación, acorde al promedio de toneladas al día que ingresan al relleno sanitario en un año. Los rellenos sanitarios se clasifican en: rellenos sanitarios Tipo I, cuando se dispone de una cantidad promedio mayor a 791 toneladas al día; Tipo II,

cuando en promedio se disponga entre 156 y hasta 791 toneladas al día y, por último, Tipo III, cuando se disponga en promedio una cantidad menor a 156 toneladas al día (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, 2015). Como unidad de estudio se toma como referencia, el relleno sanitario de Nuevo Mondoñedo que dispone un promedio de 1.407 toneladas de RSU al día (Gobernación de Cundinamarca, 2018), clasificándose como un relleno Tipo I.

En la presente propuesta de investigación se desarrolla un planteamiento del problema, objetivo general, objetivos específicos, la presentación de un marco teórico en el cual se presentan los términos relacionados a la investigación, como rellenos sanitarios, clasificación en Colombia, mecanismo de desarrollo limpio (MDL), definición de los instrumentos de metodología, además de una reseña de experiencias internacionales de la implementación de MDL en rellenos sanitarios. Luego, se expone la metodología para el desarrollo de la investigación relacionado con cada objetivo específico.

1. Planteamiento del problema

Según los investigadores del Banco Mundial, Hoornweg y Bhada-Tata (2012), para el año 2025 se espera que la generación de RSU tienda a duplicarse debido a que la producción per cápita pasará de 1,2 a 1,42 Kg/habitante en los próximos 15 años; es así como la producción actual de 1.300 millones Ton/año será de 2.200 millones para el año 2025 (Hernández, 2016).

Tabla 1:

Proyección de la producción mundial de residuos por regiones para 2025.

Región	Año 2012			Proyección para año 2025			
		Generación de RSU		Población proyectada		Proyección generación de RSU	
	Total población urbana (Millones)	Per cápita (Kg/cápita/día)	Total (Ton/día)	Total población urbana (Millones)	Población urbana (Millones)	Per cápita (Kg/cápita/día)	Total (Ton/día)
AFR	260	0.65	169,119	1,152	518	0.85	441,840
EAP	777	0.95	738,958	2,124	1,229	1.5	1,865,379
ECA	227	1.1	254,389	339	239	1.5	354,810
LCR	399	1.1	437,545	681	466	1.6	728,392
MENA	162	1.1	173,545	379	257	1.43	369,320
OECD	729	2.2	1,566,286	1,031	842	2.1	1,742,417
SAR	426	0.45	192,410	1,938	734	0.77	567,545

Total	**2980**	**1.2**	**3,532,252**	**7,644**	**4285**	**1.4**	**6,069,703**

Nota: AFR: África; EAP: Asia Oriental y el Pacífico; ECA: Europa y Asia Central; LAC: Latinoamérica y El Caribe; MENA: Medio Oriente y África del Norte; OECD: Países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo; SAR: Asia del Sur. Fuente: Adaptado de Hoornweg y Bhada-Tata (2012).

Actualmente la disposición final de residuos se realiza a través de diferentes métodos, América Latina, el mecanismo de mayor aplicación es el uso de rellenos sanitarios, los cuales constituyen una fuente importante de biogás resultado del proceso de la descomposición biológica de residuos sólidos de origen orgánico. Es necesario resaltar que según la Organización Panamericana de la Salud - OPS (2005) en América Latina y el Caribe solo un 23% de los residuos sólidos son depositados cumpliendo con las condiciones sanitarias exigidas por las normas, el resto se dispuso en botaderos a cielo abierto y en rellenos controlados cuyas normas son inadecuadas.

En el caso de Colombia, se calcula que, en la próxima década, el país llegará a producir cerca de 17 millones de toneladas de residuos, ante lo cual es necesario invertir en ese lapso cerca de 3,3 billones de pesos para ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, poner en marcha rutas de recolección de residuos y mecanismos de aprovechamiento, según el Departamento de Planeación Nacional – DNP (EL TIEMPO, 2015).

Según un estudio de caso, en rellenos sanitarios Tipo I se producen más de 791 toneladas/día, de las cuales hasta el 60% son de carácter orgánico, los cuales tienen una capacidad mayor de aprovechamiento (EL ESPECTADOR, 2015).

Ahora bien, en el marco de la producción de gases, los sitios de disposición de residuos tales como los rellenos sanitarios, generan dos tipos de residuos los cuales son lixiviados y gases de efecto invernadero (GEI), entre los GEI se encuentra el metano, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrogeno y otros resultantes de la descomposición de la materia orgánica, es necesario resaltar que los componentes del biogás que se encuentran en mayor proporción corresponden al metano y al dióxido de carbono, que en su punto máximo de generación presentan una relación 1.2:1, es decir, por cada unidad de dióxido de carbono se presentan 1.2 unidades de metano, lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2:

Composición de biogás en rellenos sanitarios.

Parámetro	Unidad	Rango de variación%
Metano	CH_4	30-65
Dióxido de carbono	CO_2	20-40

Fuente: Adaptado de Camargo y Vélez (2009).

Es necesario tener en cuenta que el metano ocupa el segundo lugar, después del dióxido de carbono de los GEI que más contribuyen al calentamiento global; el potencial de calentamiento global del metano es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono, aunque su tiempo de vida atmosférico sea menor. (IPCC, 1996).

Cabe resaltar que el biogás puede presentar problemas a largo plazo principalmente a su alto nivel de explosividad e inflamabilidad, el cual, si no se evacua de manera adecuada, se dispersa sin control dentro del relleno e invade también terrenos adyacentes,

pudiendo causar incendios o explosiones; el CH_4 es explosivo en concentraciones entre 5 - 15 %, en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable. Otros impactos nefastos del gas de relleno es que puede afectar el óptimo desarrollo de las raíces de las plantas interrumpiendo el suministro de oxígeno a las mismas; el metano se comporta como un tóxico en los seres humanos frente a una exposición prolongada (por ejemplo, los obreros del relleno, recicladores trabajando en el relleno, entre otros). Además, el metano tiene alto impacto como gas de invernadero y afectaciones a la atmósfera y al clima. (Espinoza, 2014). Es necesario tener en cuenta las propiedades químicas y físicas del biogás para su correcto manejo y explotación.

A escala mundial las emisiones de GEI, han aumentado en los últimos años, teniendo en Colombia el mismo comportamiento, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en 20 años, las emisiones del país aumentaron en un 15 % (EL ESPECTADOR, 2016).

El aumento desenfrenado de los GEI con fuente antrópica y su impacto en el cambio climático, alerto a comunidad internacional que en respuesta establecieron diferentes tratados a escala internacional con el fin de mitigar esta problemática, uno de ellos es el protocolo de Kyoto, aprobado en 1997, el cual establece alternativas para permitir que los países redujeran las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estas alternativas suscritas se encuentran la implementación de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Un MDL se define como un instrumento innovador basado en el mercado de reducción de emisiones de GEI, a través de la implementación de proyectos, programas y

actividades en los diferentes sectores productivos como el industrial, energético, forestal, de residuos y de transporte en el ámbito nacional, que generen emisiones de GEI. (MADS, s.f.).

Este mecanismo permite a los países industrializados implementar proyectos que reduzcan las emisiones de gases en los territorios de los países en vías de desarrollo. Las reducciones Certificadas de Emisiones (Certified Emission Reductions – CERs 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. (MADS, s.f.).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la implementación de un MDL en rellenos sanitarios es oportuna y necesaria, en este caso en rellenos sanitarios Tipo I, que son los que disponen de mayor cantidad de toneladas/día para la generación de energía, con base en el aprovechamiento de estos gases, principalmente el metano puesto que es el que se genera en mayor porcentaje en este tipo de entorno, además de ser uno de los principales contribuyentes al cambio climático puede ser una buena alternativa para mitigar la problemática generada a partir de la disposición final de residuos sólidos urbanos.

En consecuencia, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cuáles son los aspectos metodológicos para la implementación de un mecanismo de desarrollo limpio en un relleno sanitario tipo I en Colombia?

2. Justificación

Como estudiantes de administración ambiental escogimos esta modalidad de grado puesto que nos parece pertinente y significativa para nuestra formación, debido a que nos brinda herramientas para obtener conocimientos y aplicar instrumentos que hemos aprendido en el transcurso de la carrera, tanto de la parte administrativa y financiera, como de la parte ambiental. Es pertinente para la Administración Ambiental debido a que demuestra que la carrera es muy completa en el sentido que se pueden crear proyectos que contribuyan al bienestar ambiental siendo financieramente sostenibles, teniendo en cuenta que dentro de las competencias del administrador ambiental está el hecho de participar en la gestión y la administración de los recursos naturales que garanticen su uso y subsistencia intrageneracional e intergeneracional. Lo cual, se observa claramente en este proyecto, el cual contiene criterios y herramientas que promueven el desarrollo sostenible.

Los beneficios para nosotras como estudiantes de Administración Ambiental están relacionados con las áreas de formación a las cuales aspiramos en el futuro y los benefactores puede ser cualquier interesado en aplicar esta clase de proyectos de aprovechamiento de metano puesto que es una guía y puede ser un hito importante para el desarrollo de nuevos proyectos de este estilo en Colombia, contribuyendo así al desarrollo social, económico y ambiental del país.

3. Objetivos

3.1.General

Realizar una propuesta metodológica para la implementación de un mecanismo de desarrollo limpio en un relleno sanitario tipo I.

3.2. Específicos

- Describir las principales experiencias nacionales e internacionales para la estructuración de mecanismos de desarrollo limpio relacionados con rellenos sanitarios.
- Analizar las cuestiones técnicas y ambientales relacionadas con la estructuración de un mecanismo de desarrollo limpio en rellenos tipo I.
- Realizar un análisis costo/beneficio de la estructuración del mecanismo de desarrollo limpio.

4. Marco referencial

A continuación, se desarrolla el marco referencial de la propuesta metodológica para la implementación de un mecanismo de desarrollo limpio en un relleno sanitario tipo I en Colombia, dicho marco se presenta en los siguientes aspectos:

- Marco teórico
- Marco contextual
- Marco legal

4.1.Marco Teórico

4.1.1. Mecanismo De Desarrollo Limpio.

Los denominados MDL, tal como se indica en el planteamiento del problema, surgen a partir del protocolo de Kyoto como una medida para la mitigación de emisiones de GEI a la atmósfera, según lo establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, de ahora en adelante UNFCCC (en inglés de United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) con referencia a los MDL:

"Permite que un país que en virtud del Protocolo que haya asumido el compromiso de reducir o limitar las emisiones ponga en práctica proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo. A través de tales proyectos se pueden conseguir créditos por reducciones certificadas de las emisiones (CER), cada uno de los cuales equivalen a una tonelada de Dióxido de Carbono (CO_2), que cuenta para el cumplimiento de las metas, siendo así el primer plan mundial de inversión y crédito ambiental de su clase, y sirve de instrumento para compensar las emisiones. El mecanismo fomenta el desarrollo sostenible y la reducción de las emisiones al mismo tiempo que da cierta flexibilidad a los países

industrializados a la hora de elegir la forma en que quieren alcanzar sus metas de reducción o limitación de las emisiones.” (UNFCCC, s.f.)

Por ello, el MDL ofrece beneficios a todos los participantes. Las reducciones de emisiones se miden y se contabilizan en forma de CER a favor de las metas de emisión de los países inversionistas. Tanto el inversionista como el país contraparte se benefician con el MDL, al disminuir los costos y al fomentarse el desarrollo económico y social de un modo ecológicamente sostenible. (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, s.f.).

4.1.1.1. Certificación de MDL’s.

Es necesario resaltar que uno de los principales incentivos para la creación de proyectos de MDL es la generación de certificados de reducción de emisiones, para esto es necesario que el proyecto cuente con las siguientes fases:

- Idea del proyecto.
- Descripción del proyecto por las partes.
- Autorización por los países, inversionista y contraparte.
- Evaluación por un ente certificador independiente.
- Registro ante el Consejo de Vigilancia de MDL.
- Implementación y monitoreo del proyecto de MDL por las partes del proyecto.
- Verificación regular por el ente certificador independiente.
- Certificación por el ente certificador.

- Expedición de certificados de reducción (RCE) por el Consejo de Vigilancia de MDL.

Además, requiere una “prueba de sostenibilidad”, para lo cual se requiere documentación detallada del proyecto, que incluye (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, s.f.):

- Descripción técnica del proyecto.
- Caso de referencia.

4.1.1.2.Metodologías certificación MDL UNFCCC.

La certificación de MDL debe estar acorde con los parámetros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para ello deben seguir una serie de documentos, cuyo objeto es la presentación del proyecto, por ejemplo, para las metodologías de cálculo de emisiones, se debe identificar el sector al que se pertenece y el tamaño del proyecto acorde con las categorías disponibles.

De acuerdo con lo anterior, las categorías sectoriales son 15, entre las cuales se encuentra, la agricultura, la generación eléctrica, el transporte, la minería y el manejo y eliminación de desechos, categoría en la que se incluyen los rellenos sanitarios. Ahora bien, las categorías según el tamaño son:

- Aplicabilidad sectorial a metodologías de gran escala.
- Aplicabilidad sectorial a metodologías consolidadas de gran escala.
- Aplicabilidad sectorial a metodologías de pequeña escala.
- Aplicabilidad sectorial a metodologías de forestación y reforestación.

Las metodologías también se categorizan con respecto a la finalidad del proyecto, es decir, si el objeto del proyecto es la generación de energías renovables, la metodología a emplear es diferente a la utilizada si realizara la destrucción de GEI.

Los rellenos sanitarios hacen parte del sector denominado manejo y eliminación de desechos, el cual posee metodologías aprobadas específicamente para rellenos sanitarios, de las cuales varias han sido retiradas, las disponibles son cuatro metodologías, para los proyectos de gran escala existen dos, la primera denominada AM0083 relacionada con proyectos de disminución de GEI debido a la aireación in situ del relleno sanitario, donde los residuos en vertederos son tratados aeróbicamente por medio de ventilación de aire o aireación de baja presión a fin de disminuir los procesos de degradación anaeróbica y aumentar los de degradación aeróbica (UNFCCC, 2009)

En segundo lugar, AM0093, en donde el objetivo es igual al anterior pero por medio de la aireación pasiva, estas dos metodologías hacen parte de la categoría para evitar emisiones de GEI (UNFCCC, 2011). Para las metodologías consolidadas de gran escala solo está disponible la metodología ACM0001 relacionada con quemado y/o uso de GEI en rellenos sanitario y corresponde a la categoría de destrucción de GEI (UNFCCC, 2017).

Por último, para los proyectos de pequeña escala, se encuentra la metodología AMS-III.G relacionada con la recuperación de gas en rellenos sanitarios, esta metodología también se encuentra en la categoría de destrucción de gases (UNFCCC, 2014).

4.1.2. Rellenos Sanitarios.

La unidad de estudio son los rellenos sanitarios, los cuales se pueden definir como:

> Un área determinada de tierra o una excavación que recibe residuos sólidos domiciliarios, residuos sólidos industriales, comerciales y/o lodos no peligrosos. Según la literatura especializada, cualquier lugar donde los residuos sólidos domiciliarios se encuentran siendo depositados en grandes cantidades, es en principio, un biorreactor que genera gases y líquidos percolados, lo que dependerá de una serie de variables relacionadas a las características de la basura, del lugar de disposición, de la forma de disposición, al clima, etc. (Colmenares y Santos, 2007).

4.1.2.1.Funcionamiento.

El funcionamiento de un relleno sanitario cambia según las características del terreno, las condiciones hidrológicas y climáticas, las cuales, determinan el método de disposición, entre estos métodos se encuentra el método de zanja utilizado en pendientes planas, en este método se realizan excavaciones de 3 a 6 metros de ancho por 2 a 4 metros de profundidad, debe ser impermeabilizados y tener un sistema de drenajes (López, 2016)

También existe el método de área, sirve para terrenos relativamente planos, y consiste básicamente en disponer los residuos directamente sobre el suelo, antes de la disposición se realiza la impermeabilización y se realiza la cobertura con materiales provenientes de otros sitios. Así mismo, es posible una combinación de los métodos en la operación de rellenos sanitario con lo cual, se puede aprovechar mejor el terreno (Jaramillo, 2002)

Los rellenos sanitarios pueden clasificarse de acuerdo con la operación de este, es decir, con respecto a los mecanismos de los cuales se valen para la disposición de residuos, esta clasificación consiste en rellenos sanitarios manuales, semimecanizado y mecanizado.

Los rellenos sanitarios manuales, se consideran rellenos para pequeñas poblaciones cuyos residuos no supera las 15 ton/día, además, no utiliza equipos para la operación, por lo tanto, puede usar personas con herramientas para realizar la compactación y el confinamiento de los residuos. Los rellenos semimecanizados dispone entre 16 y 40 ton/dia, esta operación requiere de algún apoyo mecánico fuera del manual, para ello, puede usarse un tractor adaptado. Por último, el relleno sanitario mecanizado corresponde a una disposición de más de 40 ton/día, como se realiza en grandes ciudades, en esta categoría se requiere de compactadores, volquetas, retroexcavadoras entre otras (Jaramillo, 2002)

5.1.2. Rellenos sanitarios en Colombia.

Las definiciones normativas de la legislación colombiana, en lo que a rellenos sanitarios se refiere, se mencionan en primer lugar, en el Decreto 838 de 2005 que el relleno sanitario es:

> "El lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria a los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final" (MAVDT, 2005, p.3.)

Mientras que mediante el Decreto 1784 de 2017 se define el relleno sanitario como:

> "Solución técnica de Saneamiento Básico, resultado de procesos de Planeación, Diseño, Operación y Control para la disposición final adecuada de residuos sólidos" (MVCT, 2017).

Con lo cual, se determina que los rellenos sanitarios son sitios regulados bajo medidas de control los cuales operan en pro de la disposición exclusiva de residuos sólidos bajo parámetros determinados y que excluyen tanto los residuos hospitalarios como los residuos electrónicos.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) mediante la Resolución CRA 720 de 2015,

"por 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 suscritores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones." (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, 2015)

Mediante la resolución se establece la distribución de sistemas de disposición final en Colombia de la siguiente manera:

Tabla 3:

Distribución sistemas de disposición final en Colombia.

Sistema de Disposición Final	**Porcentaje de Toneladas Dispuestas (%)**
Relleno sanitario	81
Botadero	10,34

Celda transitoria	4,26
Planta de aprovechamiento	3,09
Celda de contingencia	1,27
Cuerpo de agua	0,45
Quema	0,18

Fuente: Modificado de gráfica, SUI, cálculos SSPD, citada por (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS, 2017)

A su vez, define los tipos de rellenos sanitarios en Colombia de acuerdo con el promedio de toneladas/día del último año que recibe el relleno de residuos sólidos urbanos (RSU). Por lo tanto, como se muestra en la Tabla 4, los rellenos sanitarios tipo I son los que procesan un promedio de toneladas/día mayor a 791, los rellenos sanitarios tipo II, son aquellos que procesan en promedio desde 156 hasta 791 toneladas/ día, por último, los rellenos sanitarios tipo III son aquellos que procesan en promedio toneladas/día una cantidad menor a 156. (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO, 2015)

Tabla 4:

Clasificación rellenos sanitarios en Colombia.

Promedio toneladas/día último año	**Tipo de Relleno Sanitario**
Mayor a 791	RSU I
Desde 156 hasta 791	RSU II
Menor a 156	RSU III

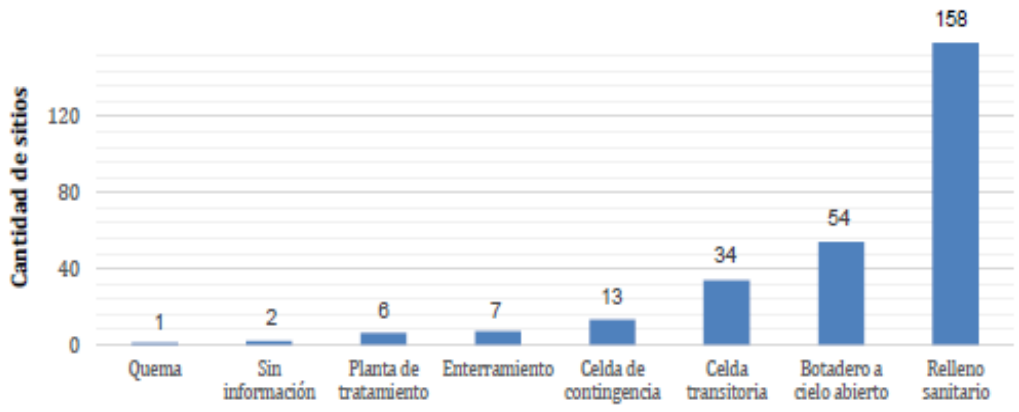
Fuente: Adaptado de la Resolución CRA 720 de 2015 Artículo 29.

La determinación de la ubicación de rellenos sanitarios debe estar acorde con los Planes de Ordenamiento Territorial y cumplir criterios de sanidad, la determinación de nuevas áreas de rellenos sanitarios debe ser realizadas por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO- MVCT, 2017)

Para el año 2016 Colombia contaba con 158 rellenos sanitarios, este sistema representa el 58% de uso, con respecto a la utilización de otros sistemas de disposición, adicional, en los rellenos sanitarios se dispone el 96,5% de toneladas dispuestas en el país, dicho porcentaje corresponde a 10.904.459 toneladas anuales de 11.300.794 toneladas anuales (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS, 2017) lo que convierte a los rellenos sanitarios en el sistema de disposición más utilizado en el país. tal relación se presenta en la Figura 1.

Figura 1:

Tipos y cantidad de sistemas de disposición final.



Fuente: Citado por SUPERSERVICIOS 2017 de SUI, visitas y requerimientos.

Cabe mencionar que en Colombia existen dos categorías en cuanto a los sitios de disposición, la primera categoría, son los sistemas adecuados en la cual se incluyen tres métodos, las plantas de tratamiento, las celdas de contingencia y los rellenos sanitarios, los demás sistemas pertenecen a la segunda categoría de sistemas inadecuados de disposición (SUPERSERVICIOS, 2017, p.30). Por lo tanto, se evidencia que el segundo y el tercer sistema más utilizados después de los rellenos sanitarios, son, los botaderos a cielo abierto y las celdas transitorias, los cuales, se consideran sistemas inadecuados de disposición.

Un comparativo de la disposición de residuos de los últimos tres años, nos permite evidenciar el incremento en el promedio diario de disposición. En la Tabla 5, tomada del Informe Nacional de Residuos Sólidos publicado en el 2017 y cuyo informe corresponde al año 2016, indica que en el 2014 se dispusieron 20.528 ton/día, para el año 2015 se dispusieron 27.309 ton/días, con lo cual hubo un incremento del 3% y para el año 2016, 30.961 ton/día, por lo tanto, aumento la disposición un 13,7% con respecto al año 2015.

Tabla 5:

Promedio toneladas/día dispuestas por rellenos sanitarios a nivel nacional

Año	Promedio de Toneladas Dispuestas a Nivel Nacional
2014	26.528 ton/día*
2015	27.309 ton/día**
2016	30.961ton/día

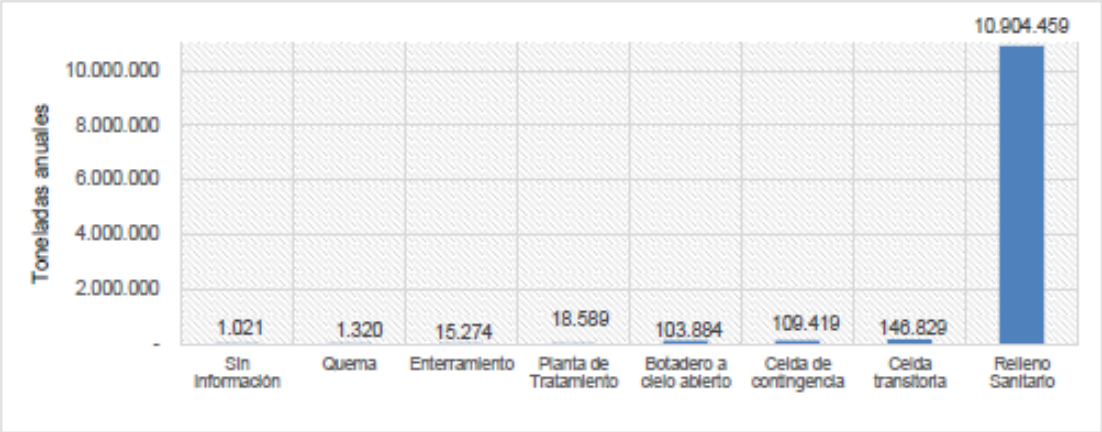
** Tomado del Informe Nacional de Disposición Final, Elaborado 2015*

*** Tomado del Informe Nacional de Disposición Final, Elaborado 2016*

Fuente: SUPERSERVICIOS, 2017, pág. 33.

Figura 2:

Cantidad dispuesta por sistema.



Fuente: Citado por SUPERSERVICIOS 2017 de SUI, visitas y requerimientos.

En la Figura 2, se evidencia la cantidad de toneladas dispuestas por sistema en el año 2016, es notorio que la cantidad dispuesta en rellenos sanitarios es muy superior a la dispuestas en otros sistemas, tal como se mencionó anteriormente, pero, se nota una diferencia en la disposición en botaderos con respecto a la figura 1, es decir, que a pesar de que los botaderos a cielo abierto sean el segundo sistema más común en Colombia, en cuanto a recepción en cantidad de residuos sólidos, se ubica como el cuarto sistema de disposición.

4.1.3. Biogás

Entre los conceptos de biogás encontramos que es una combinación de gases compuesto en su mayoría por metano y dióxido de carbono, posee impurezas y su composición está relacionada con el material utilizados y el funcionamiento del proceso. (FAO, 2011).

Tabla 6:

Descripción biogás

Composición	55-70% metano (CH4) 30-45% Dióxido de Carbono (CO2) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0-6.5 kW/h/m-3
Equivalente de combustible	0.60-0.65 L petróleo/m3 biogás
Límite de explosión	6-12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750 C (con el contenido de CH4 mencionado)
Presión Crítica	74-88 atm
Temperatura Crítica	82.5 C
Densidad normal	1.2 Kg/m-3
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg/kmol-1

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

4.1.3.1.Sistemas de control de biogás en rellenos sanitarios

Los sistemas de control de biogás en los rellenos sanitarios pueden ser pasivos o activos, pasivos cuando no se emplea asistencia mecánica, mientras que para el sistema activo se implementa una asistencia mecánica para extraer el biogás. Para ambos sistemas se puede

realizar la construcción de pozos verticales, los pozos son una perforación de los residuos para acceder a la zona profunda de los residuos y recolectar los gases, este método es común en rellenos que han finalizado operaciones En rellenos sanitarios activos y poco profundos, puede implementarse la recolección horizontal, la cual consiste en la instalación perimetral de filtros para la captación de gases, la recolección horizontal permite que se capten los gases mientras se realiza el llenado. (González, 2014)

4.1.4. Flujo de Caja

La herramienta financiera de la cual se hará uso es de los flujos caja los cuales permitirán un análisis de los beneficios que tiene el proyecto, realizando uno a partir del escenario actual y futuro. Es decir, se establece un flujo de caja puro y otro, denominado flujo de caja del inversionista.

Para el cálculo del flujo de caja puro se debe corregir la utilidad después de impuestos sumándole la depreciación (los intereses después de impuestos para depurarla del efecto del endeudamiento. Para obtener el flujo de caja del inversionista, que incorpora el efecto de la financiación, se resta el interés después de impuestos y se suma el incremento de la deuda. (Benavides, 2013) lo cual permitirá una comparación de la mejor alternativa, desde el punto de vista financiero, para el proyecto.

La información necesaria para la proyección de un flujo de caja la proporcionan los estudios de mercado, técnico, organizacional y financiero. Al proyectar el flujo de caja es necesario incorporar información adicional relacionada con loes efectos tributarios de la depreciación, con la amortización del activo nominal, utilidades y pérdida, entre otras. Además, se compone de cuatro elementos básicos: (Sapag, 2014)

- Ingresos y egresos de operación.
- Egresos iniciales de fondos.
- Momento de egresos e ingresos.
- Valor de salvamento.

4.1.5. Estudio de Impacto Ambiental

En cuanto a las herramientas a utilizar en el desarrollo del proyecto se encuentra el estudio de impacto ambiental (EIA), para el adecuado funcionamiento del MDL, el cual es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades. Cabe resaltar que la Evaluación de Impacto Ambiental incluye como instrumento técnico el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), donde se identifican, describen y valoran los impactos ambientales (Toro, 2009). En general, podemos agrupar las metodologías disponibles en las siguientes categorías:

4.1.5.1. Métodos de identificación de impactos

- Trabajo de equipos interdisciplinarios (caso: Método Delphi):
- Listas de chequeo de efectos
- Flujogramas y redes causales
- Cartografía ambiental

4.1.5.2.Métodos de valoración de impactos

- Matriz de Leopold
- Sistema Batelle Columbus
- Matriz de importancia

En el presente proyecto de investigación se implementará la matriz de importancia de Conesa 2010. De acuerdo, con la cual, la valoración de los impactos ambientales se realizar a través de matrices cruzadas por las cuales se evidencia el impacto de cada actividad del proyecto sobre los elementos ambientales y su magnitud. Dicha metodología, se complementa con las pautas establecidas en la Resolución 1402 del 25 de Julio de 2018, "por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones", la cual, aporta los lineamientos de los componentes ambientales.

4.2.Marco contextual

A continuación, se presentan casos internacionales y nacionales de la aplicación de MDL's. con énfasis en los datos nacionales y los sectores que implementa los MDL, además, del énfasis en los rellenos sanitarios y su propuesta.

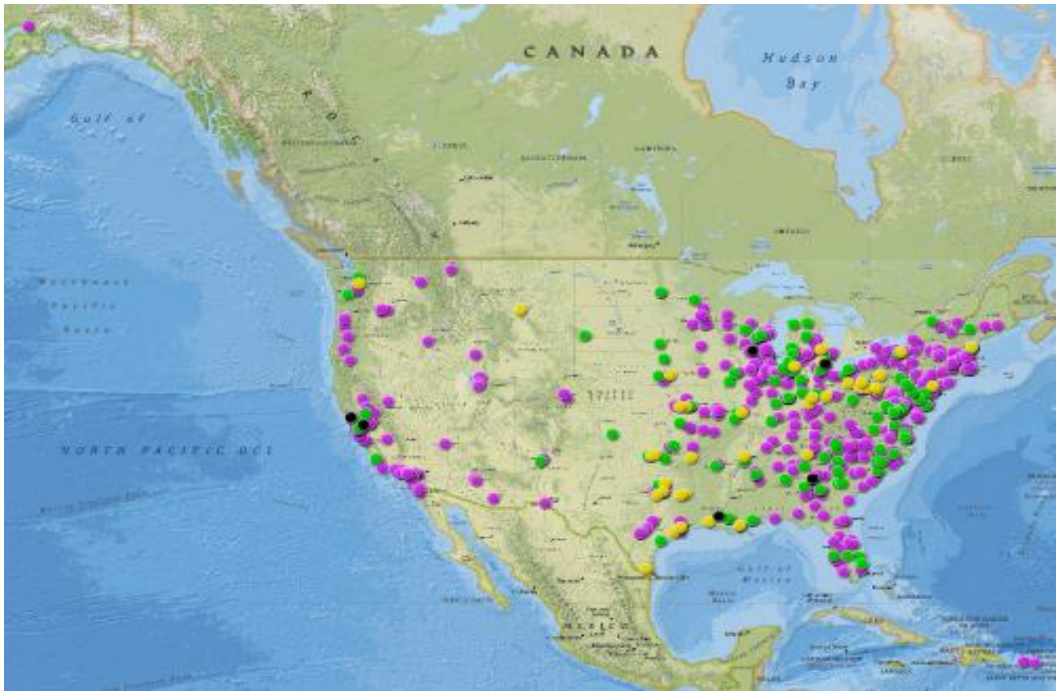
4.2.1. Experiencias Internacionales

A través de la Agencia de Protección Ambiental, en inglés Enviromental Protection Agency (EPA), Estados Unidos ha consolidado un programa de divulgación con respecto al Metano y su aprovechamiento en rellenos sanitarios, conocido como Landfill Methane Outreach Program (LMOP) éste programa consiste en una base de datos que contiene los proyectos de recuperación de biogás en rellenos sanitarios con fines energéticos, cabe aclarar que esta base de datos no es un inventario exhaustivo de todos los rellenos sanitarios de Estados Unidos. En la figura 3 se presenta la plataforma en la cual se puede diferenciar el tipo de proyecto de acuerdo con el color del punto de ubicación geográfica del proyecto. Así, podemos identificar a través de la base de datos de la EPA, que Estados Unidos concentra la mayoría de los proyectos de recuperación de biogás en los estados

occidentales, con un proyecto de generación eléctrica en Alaska. En este caso podemos observar que la mayoría de los proyectos, son de generación eléctrica, los cuales tienen un color morado, los de color verde representan los proyectos que usan el gas directamente, los de color negro representan los proyectos cuyo propósito es la producción de combustible para vehículos.

Figura 3:

Proyectos de aprovechamiento de biogás en Estados Unidos.



Fuente: Pagina web EPA. Mapa nacional de MLOP. 2018.

4.2.2. MDL en Colombia.

La certificación de MDL se realiza ante la UNFCCC a través de su sistema de validación estandarizado, con la debida aprobación de la Autoridad Nacional Designada, la

cual, es asignada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para el caso de Colombia, el ente es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante nota consular del 22 de mayo de 2002 (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS, s.f.)

Las etapas para la elaboración y aprobación de un MDL consisten en el cumplimiento de requisitos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible alineados con la estandarización internacional, dicho requisitos se denominan ciclo MDL, el ciclo se describen a continuación (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS, s.f.):

- Descripción General del Proyecto: Consiste en presentar la información básica del proyecto, en cuanto a las actividades a ejecutar, las tecnologías y el modo en que se reducen GEI.
- Elaboración y Cálculo de la Línea Base: En esta fase se identifican las emisiones que se emitirán si el MDL no se ejecutara, para ello, la línea base debe calcularse de acuerdo con las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva del MDL.
- Selección del período de Acreditación: El periodo de acreditación varía de acuerdo con el tipo de MDL, es decir, si el proyecto es de carácter forestal su acreditación podría ser de hasta 30 años o de un lapso de 20 años, los cuales se pueden renovar en dos ocasiones. Si el proyecto consiste en la reducción de emisiones por reducción de gases en la fuente, los lapsos de tiempo para la validación del proyecto son de 10 años o por un lapso de 7 años en cuyo caso, se puede renovar en dos ocasiones.

- Elaboración del Plan de Monitoreo: Debe definirse un plan de monitoreo para realizar el seguimiento de las emisiones de gases, para ello, debe seguirse alguna de las metodologías aprobadas.
- Validación: Esta etapa corresponde a la revisión de los requisitos y los datos de reducción de emisiones por parte de la Entidad Operacional Designada.
- Registro: En el registro se efectúa la aprobación del MDL por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Para ello, se presenta el reporte de validación con la aprobación por parte de la Autoridad Nacional Designada.
- Monitoreo: Hace referencia a la ejecución de lo estipulado en el plan de monitoreo durante el desarrollo del proyecto, en el cual, se debe registrar la información relacionada con las emisiones reales.
- Verificación: Durante la verificación se corroboran los procedimiento de monitoreo, los cuales deben corresponder a los consignados en el documento validado del proyecto, para ello, la revisión puede ser o no ser realizada por quien valido el proyecto, para resultar como un informe de la Entidad Operación Designada dirigido a la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio y a quien corresponda, finalmente, se expide el certificado de reducción de gases de efecto invernadero para el proyecto.
- Expedición de las Reducciones Certificas de las Emisiones: Esta expedición es emitida por la Junta Ejecutiva, siempre que la Entidad Operacional Designada allegue el informe de certificación de emisiones y no exista objeciones de alguna de las partes interesadas.

4.2.2.1.MDL´s por departamento

En la actualidad, Colombia cuenta con 72 MDL validados en diferentes tipos de proyectos, tales como, proyectos de reforestación, cambio del uso de combustibles en transportes masivos, reducción o captura en hidroeléctricas y sistemas productivos, además, de la captura de gases en rellenos sanitario (DATOS ABIERTOS GOBIERNO DIGITAL COLOMBIA, 2018) Estos MDL se encuentran distribuidos en diferentes partes del país, como se puede apreciar en la tabla 7, en la cual se presentan los MDL´s ratificados en Colombia por departamento.

Tabla 7:

MDL por departamento.

Departamento	MDL´s
Antioquía	17
Valle del Cauca	10
Interdepartamental	8
Cundinamarca	6
Boyacá	5
Atlántico	3
Risaralda	3
Tolima	3
Bolívar	2
Cesar	2

Córdoba	2
Santander	2
Caldas	1
Cauca	1
Guajira	1
Magdalena	1
Meta	1
Nariño	1
Norte de Santander	1
Quindío	1
Vichada	1
Total	72

Fuente: Adaptado de Datos Abiertos Gobierno de Colombia Digital.

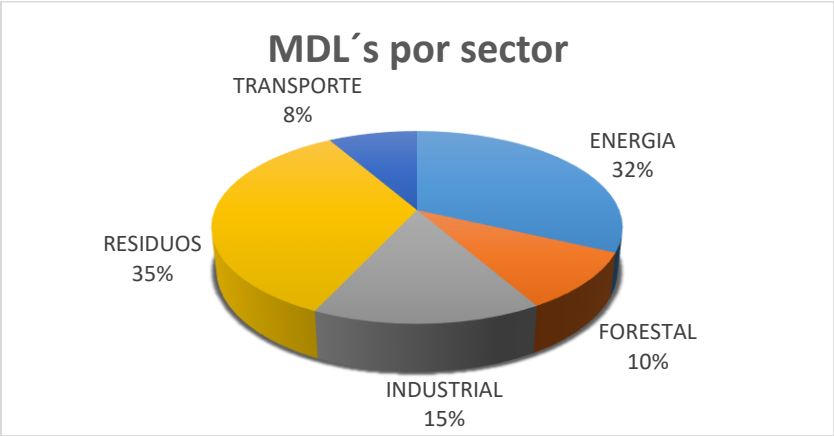
Por consiguiente, los departamentos que poseen mayor número de MDL son, en primer lugar, el departamento de Antioquia con 17 MDL, en segundo lugar, el departamento del Valle del Cauca con 10 MDL, y, en tercer lugar, se encuentran los proyectos interdepartamentales con 8 MDL, estos son aquellos proyectos que se desarrollan en dos o más departamentos del país.

4.2.2.2.MDL´s por sector

Ahora bien, de acuerdo con los sectores donde se implementan MDL en el país, se evidencia una concentración en el sector de residuos y energía, lo cual, se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 1:

MDL por sector.



Fuente: Adaptado de Datos Abiertos Gobierno de Colombia.

De acuerdo con lo anterior, el sector con mayor MDL en el país es el sector de residuos con un 35% de participación, cuyo porcentaje corresponde a 25 MDL's certificados, posteriormente se encuentra el sector energético con 23 MDL's que equivalen al 32%, luego el sector industrial participa un 15% que equivale a 11 MDL's, por último, el sector forestal con 10% y el sector de transporte con un porcentaje del 8% los cuales equivalen a 7 MDL's y 6 MDL's respectivamente.

Para finalizar, las metodologías usadas para la validación de MDL por parte de los rellenos sanitarios se resumen en la tabla 8, con lo cual, se evidencia que la mayoría de los proyectos validados ha usado la metodología ACM0001 como proyectos de gran escala, seguido de AMS-III.G la cual es una metodología para proyectos de pequeña escala, las demás metodologías presentadas como AMS0025 que actualmente no es una metodología aprobada.

Tabla 8:

Metodologías MDL implementadas por los rellenos sanitarios en Colombia

Metodología	No. de MDL
ACM0001	10
AMS-III.G	7
AM0025	1
Combinadas	2
Total	20

Fuente: adaptado de Datos Abiertos Gobierno de Colombia Digital.

4.3. Marco legal

En la siguiente tabla se relaciona la normativa nacional asociada a rellenos sanitarios en Colombia.

Tabla 9:

Normas nacionales relacionadas con rellenos sanitarios

Norma Jurídica	Entidad que la emite	Generalidades
Ley 142 de julio 11 de 1994	El Congreso de Colombia	Por el cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones, Ley que dispone las obligaciones en cuanto a las funciones estatales y las obligaciones de las empresas privadas que ejerzan la prestación de servicios públicos domiciliarios, entre ellos el servicio de recolección de residuos y el servicio público de aseo.

Decreto 838 de marzo 23 de 2005	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Este decreto, dispone de los conceptos generales sobre rellenos sanitarios, dispone las medidas de planificación, construcción y operación relacionadas con la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios.
Decreto 920 de mayo 08 de 2013	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 en relación con el incentivo a los municipios donde se ubiquen rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales para residuos sólidos. Establece conceptos como relleno de carácter regional, y además del incentivo a los municipios obliga al responsable del relleno sanitario a reportar el total de toneladas dispuestas al día en el Sistema Único de Información (SUI)
Decreto 2981 de diciembre 20 de 2013	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Mediante este decreto se resuelven conceptos globales del servicio público de recolección y se establecen las directrices para los gestores de residuos aprovechables y no aprovechables.

Decreto 1076 de mayo 26 de 2015	Presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. En lo que a rellenos sanitarios se refiere, el Decreto Único Reglamentario establece que es competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales otorgar o negar la licencia ambiental a la construcción de rellenos sanitarios y, la operación deben seguir lo dispuesto en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994. Prohíbe la disposición de residuos peligrosos en rellenos sanitarios que no cumplan con las condiciones adecuadas para la disposición de tales residuos, como lo son las celdas de seguridad. También, prohíbe la disposición de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en rellenos sanitarios.
Decreto 1077 de mayo 26 de 2015	Presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. En la Parte 3 del presente decreto se establece el Régimen Reglamentario del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, en el titulo 2 se relacionan los criterios para la prestación de los servicios de recolección de residuos y aseo público.
Decreto 1736 de agosto 28 de 2015	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se modifica el artículo 2.3.2.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015. Decreta las prohibiciones relacionadas con las localizaciones de áreas para la disposición final de residuos sólidos.

Decreto 596 de abril 11 de 2016	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto número 1077 de 2015 en lo relacionado con el esquema de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones. Este Decreto incluye un nuevo capítulo, en la parte 3, titulo 2 relacionado con los servicios públicos de aseo, en este nuevo capítulo se determinan los conceptos, y criterios para la formalización de los recicladores de oficio.
Decreto 1784 de noviembre 02 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo. Modifica la definición de relleno sanitarios, y establece una nueva categorización de los rellenos sanitarios diferente a la Resolución CRA 720.
Resolución 330 de junio 08 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005, 2320 de 2009. Esta Resolución contiene las obligaciones técnicas para el sistema de recolección, transporte y disposiciones de residuos no

		aprovechables. Determinar, la locación, construcción y operación de rellenos sanitarios en el territorio.
Resolución 135 de noviembre 16 de 2012	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico	Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás. Aporta los conceptos sobre biogás y su utilización en el marco de su producción y comercialización.
Resolución 720 de julio 09 de 2015	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico	Por 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, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones. En su cálculo de los costos de disposición final, la resolución muestra una tipificación de rellenos sanitarios según el promedio toneladas/día dispuestos en el último año.

Ley 629 de diciembre 27 de 2000	El Congreso de Colombia	Por medio del cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. Apropia las premisas del protocolo de Kyoto, dentro de las cuales se mencionar a reducción de emisiones de metano mediante su recuperación utilización en la gestión de desechos como en la producción, el transporte y la distribución de energía.

Fuente: Autoras

5. Metodología

5.1.Tipo de investigación

El tipo de investigación define el alcance del trabajo de grado, para este caso la metodología de la cual se hará uso es el estudio de caso que muestra una descripción del problema, hechos o situaciones reales ocurridos en la unidad objeto de estudio, muestra diagnóstica de la situación objeto de estudio y presenta recomendaciones para la solución de los problemas. Por lo tanto,

> *"los proyectos de aprovechamiento de biogás a partir de rellenos sanitarios son una práctica común en los países desarrollados, a nivel mundial destacan, Alemania, Suecia, Estados Unidos y Reino Unido, por tener la mayor cantidad de proyectos de explotación de biogás".* (Montaño, Corona, & Montelongo, 2009)

5.2.Plan general de la investigación

En el presente trabajo se establecen las herramientas de medición de acuerdo a cada objetivo de investigación.

- Objetivo 1: Análisis documental, listas de chequeo y análisis por Benchmarking. Lo cual se realizará durante 13 semanas (Desde la primera semana del mes 2, hasta la primera semana del mes 4), según el cronograma de la investigación.
- Objetivo 2: Enfoque matricial para la Evaluación de impactos ambientales, y pronóstico estadístico mediante series de tiempo. Lo cual se realizará desde la segunda semana del mes 4, hasta la tercera semana del mes 5, con un total de seis semanas.
- Objetivo 3: Flujo de caja, e indicadores de decisión. De igual manera se desarrollará en seis semanas, puesto que se realizará en los mismos tiempos de los instrumentos utilizados en el objetivo 2.

Tabla 10:

Metodología de investigación.

Objetivo	Herramientas	Actividad
Describir las principales experiencias nacionales e internacionales para la estructuración de mecanismos de desarrollo	Análisis documental. Listas de chequeo.	Análisis de la información por medio de la revisión del estado del arte, en primer lugar, de las experiencias internacionales, luego de las experiencias nacionales, al incorporar listas de chequeo, que permitan caracterizar la información para seleccionar

limpio relacionados con rellenos sanitarios.	Análisis por Benchmarking.	los casos más representativos de la implementación de MDL entre la información analizada. Por último, identificar las características comunes de éxito entre los casos seleccionados. Con lo anterior identificar el relleno sanitario tipo I donde se realizará el proyecto.
Analizar las cuestiones técnicas y ambientales relacionadas con la estructuración de un mecanismo de desarrollo limpio en rellenos tipo I.	Evaluación de impactos ambientales. Pronóstico estadístico mediante series de tiempo.	• Realizar la caracterización del relleno sanitario tipo I seleccionado. • Revisar las diferentes metodologías de evaluación de impacto ambiental, para seleccionar la metodología más conveniente para el tipo de proyecto. • Definir las actividades del proyecto. • Establecer las características de los medios: biótico, abiótico y socioeconómico sometidas a valoración. • Relacionar las variables. • Definir los impactos significativos y las medidas de manejo, mitigación, prevención, y compensación.

		• Realizar proyecciones con respecto al comportamiento, tanto de los residuos sólidos como de las emisiones que se generarían durante la vida útil del proyecto.
Realizar un análisis costo/beneficio de la estructuración del mecanismo de desarrollo limpio.	Flujo de caja Indicadores de decisión.	Identificar los costos asociados a la implementación del proyecto, para establecer la viabilidad y rentabilidad financiera.

Fuente: Autoras

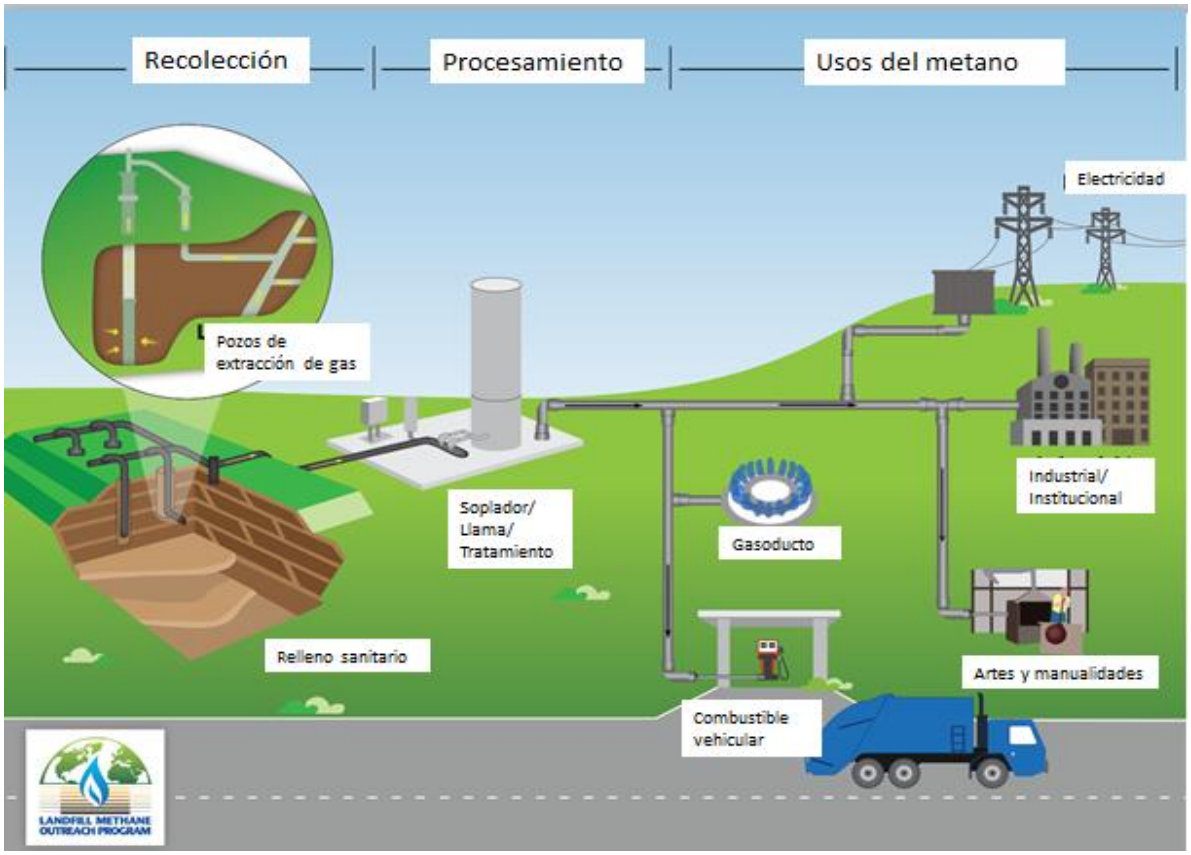
6. Resultados

6.1. Capítulo 1: Descripción de experiencias nacionales e internacionales para estructuración de un MDL en rellenos sanitarios

En el presente capítulo se realiza la descripción de algunos ejemplos a escala nacional e internacional, descritos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés, United States Environmental Protection Agency), específicamente los relacionados con la generación de energía, estableciendo las características principales de cada uno de ellos. En la primera parte se realiza una breve descripción del funcionamiento de las plantas de obtención de gas.

Figura 3:

Procesamiento metano para uso.

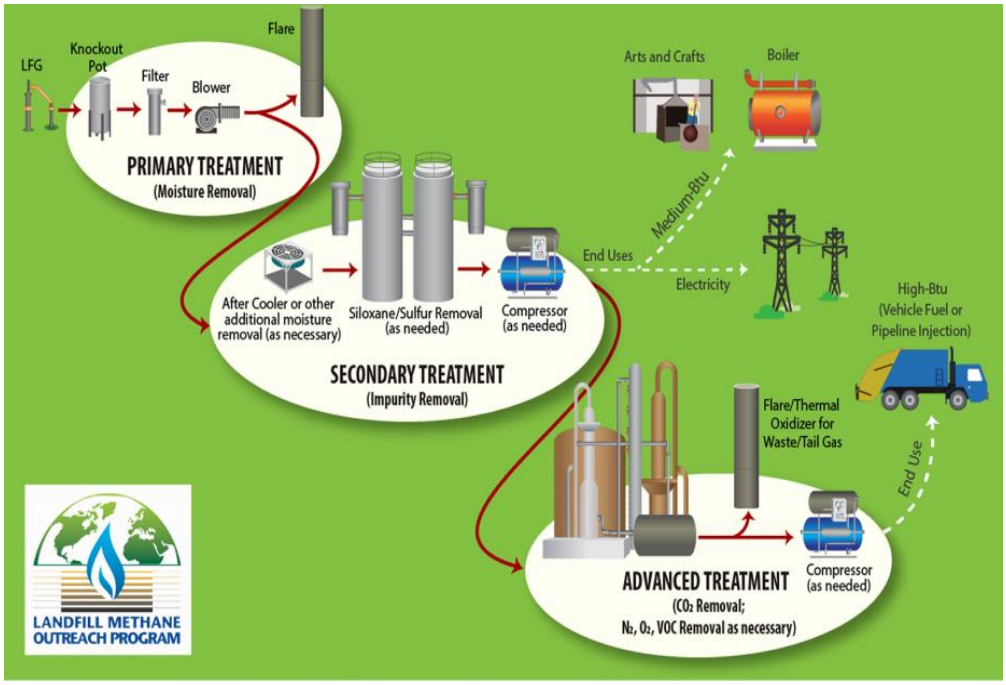


Fuente: Adaptado página web EPA. Basic information about Landfill Gas. 2018.

El gráfico ilustra la recolección y el procesamiento de gases para producir metano para múltiples usos. En primer lugar, el biogás se recolecta a través de tuberías verticales y horizontales enterradas en un vertedero del relleno sanitario. El gas se procesa y trata para su uso. El gráfico muestra los posibles usos finales de biogás, incluyendo usos industriales / institucionales, artes y artesanías, gas de tuberías y combustible para vehículos.

Figura 4:

Tratamiento de gestión de residuos.



Fuente: Adaptado página web EPA. Basic information about Landfill Gas. 2018.

Este gráfico muestra tres etapas del tratamiento de GRS, en el primer tratamiento se elimina la humedad a medida que el gas pasa a través de un separador de líquido-vapor, filtro y soplador, el tratamiento secundario implica el uso de un enfriador posterior u otra eliminación adicional de humedad (según sea necesario), seguido de la eliminación y compresión de siloxano / azufre (según sea necesario). Después de que se eliminan las impurezas en la etapa de "Tratamiento secundario", el GRS se puede utilizar para generar electricidad o como combustible de Btu medio para artes y artesanías o calderas. El tratamiento avanzado elimina las impurezas adicionales (CO_2, N_2, O_2 y compuestos orgánicos volátiles) y comprime el biogás en un gas de alto Btu que puede usarse como

combustible para vehículos o inyectarse en una tubería de gas. El gas de desecho se envía a una bengala o un oxidante térmico.

Relleno sanitario São João, Sao Paulo, Brasil (Generación de electricidad)

El relleno sanitario de São João se encuentra cerca de São Paulo, la ciudad más grande de Brasil y un productor de 15,000 toneladas de desechos por día. El relleno ha generado grandes cantidades de biogás desde su inicio, pero la mayor parte del gas se ha perdido en la atmósfera a través de la ventilación pasiva. En junio de 1996, la EPA realizó un estudio de viabilidad que indicó que el relleno sanitario de São João podría respaldar un proyecto de electricidad de biogás.

La construcción de la planta eléctrica de biogás inició en junio de 2007. El proyecto entró en funcionamiento en 2008. La planta quema el biogás en 16 motores, cada uno con una capacidad de 1,54 megavatios (MW), y tiene una producción total de electricidad capacidad de 22.4 MW. Tres bengalas destruyen cualquier gas no utilizado para generar electricidad.

7.1.1. Relleno sanitario MARCA, São Paulo, Brasil (Generación de electricidad)

Nace de una iniciativa conjunta entre EcoSecurities Ltd y MARCA Construtora de Servicos, la primera, una compañía financiera del medio ambiente y la segunda, una empresa local encargada de la gestión de rellenos sanitarios; el proyecto tiene una capacidad instalada para generar 11 megavatios (MW), el costo estimado del proyecto fue de 1.1 millones de dólares, con lo que se busca tener una reducción media de emisiones de 20.500 Toneladas/ CO_2 equivalente/año, además de proporcionar electricidad a la red local.

7.1.2. Relleno sanitario El verde, León, Guanajuato, México (Generación de electricidad)

Promotora Ambiental S.A.B. de C.V. (PASA) es una empresa privada de recolección y disposición de desechos en México y es el propietario y operador del relleno sanitario El Verde. El plan para el Proyecto de Gas de Vertedero de El Verde (LFG) es capturar biogás, usar parte de él para evaporar el lixiviado e inicializar el gas restante. Una vez que se establezca la captura de biogás y se conozca el volumen capturado de biogás, se instalarán tres motores de 0,8 megavatios (MW) para generar electricidad. PASA contrató a MGM International para preparar un documento de diseño de proyecto relacionado con la captura y el uso de gas de vertedero bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

La construcción de la captura de GRS, las evaporaciones de lixiviados y los sistemas de quema comenzó en enero de 2009 y se completó a fines de 2009. En marzo de 2009, PASA completó el primer paso para el registro de proyectos en el proceso MDL obteniendo la aprobación nacional del país anfitrión y de inversión. En octubre de 2010, SGS United Kingdom Limited completó el proceso de validación del proyecto. El 27 de octubre de 2010 se otorgó el registro de proyectos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

7.1.3. Relleno sanitario Gaoantun, Beijing, China (Generación de electricidad)

El relleno sanitario de Gaoantun es un relleno sanitario de propiedad y operado por el Centro de eliminación de basura inocente del distrito de Chaoyang de Beijing (CDGIDC, por sus siglas en inglés). En febrero de 2007, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) se reunió con funcionarios municipales para evaluar el potencial de expandir el

uso de gas de vertedero (biogás) en este sitio. El sitio fue seleccionado para una evaluación de prueba de bomba. Más tarde ese año, la EPA llevó a cabo la prueba de la bomba y produjo un estudio de prefactibilidad sobre la viabilidad técnica de producir energía de GRS adicional en el sitio. Actualmente, el GRS del vertedero se utiliza para generar electricidad a partir de tres motores alternativos de 500 kilovatios (kW) y uno de 1.000 kW y para alimentar una caldera de 700 kW. La caldera funciona las 24 horas del día en el invierno y de 3 a 4 horas por día durante las otras estaciones; la capacidad de generación total es de 2.5 megavatios (MW). CDGIDC planea finalmente aumentar la capacidad de generación de energía a 5 MW.

7.1.4. Rellenos sanitarios Curva de Rodas y la Pradera, Medellín, Colombia (Generación de llama)

Para el 2007, Empresas Varias de Medellín, firmó un acuerdo con las universidad de Medellín para la gestión de captura y quema en los vertederos mencionados, además de establecerse como un proyecto económico, se planteó la posibilidad de permitir el uso práctico por parte de los estudiantes de la universidad en pro de la investigación y el aprendizaje. Al finalizar la instalación del proyecto, se contó con un sistema de recolección de gas activo y sistemas de quema, además de la posibilidad de instaurar un sistema para la generación de energía eléctrica.

El proyecto ofreció una reducción de 203.923 Ton de CO_2 equivalente para el año 2010, mejoró la estabilidad de la pendiente del terreno al disminuir la presión interna generada por el biogás, otro aspecto positivo fue la promoción de oportunidades de investigación y transferencia de tecnología para la Universidad de Antioquia. Cabe

mencionar que el proyecto tiene algunas dificultades en cuanto a su administración y falta de incentivos para el uso de energía renovables.

A continuación, se muestran las similitudes de cada uno de los proyectos mencionados anteriormente:

Tabla 10:

Comparación proyectos MDL a escala internacional.

Parámetro	**São João**	**Marca**	**El verde**	**Gaoantun**	**Curva de Rodas**	**La Pradera**
Duración del proyecto	16 años	22 años	16 años	20 años	19 años	24 años*
Desperdicio total en sitio (Mg)	24 millones	1,34 millones	2,9 millones	4,19 millones	8,5 millones	3,5 millones
Pozos de extracción	160	67	48	150	84	45
Flujo promedio de gas (m3/h)	11,555 al 50 % CH4	662 al 48 % CH4	509 al 50% CH4	2,500 al 60 % CH4	634 al 37% CH4	1,465 al 50% CH4
Reducción estimada de emisiones (CO2e)	876.797	20.500	178.901	34.000	24.349	179.574

Costo aproximado del proyecto (Dólares)	2,8 millones	1,1 millones	1,2 millones	-	-	-

Fuente: Autores

En los proyectos que se evaluaron en este capítulo se evidencia que la cantidad de desperdicio es directamente proporcional a la reducción estimada de emisiones, es decir, a mayor cantidad de desperdicio total en el relleno sanitario mayor será la producción de gas, por lo tanto su adecuada captura y transformación permitirá la reducción de emisiones y a su vez, mayor será la generación de energía, obteniendo beneficios para económicos, para las personas y el medio ambiente; aunque no se obtiene información exacta del costo de los estudios de caso, los proyectos de MDL tienden a presentar altos costos pero a su vez son altamente rentables. Los hallazgos que se obtienen a partir de este capítulo son:

Tabla 11:

Hallazgos obtenidos

Hallazgos del capítulo
Teniendo en cuenta los datos de la EPA, evidenciados en la primera parte del capítulo, la generación de electricidad es la alternativa más viable para el aprovechamiento del metano puesto que necesita menos procesamiento para su uso.
En los proyectos que se evaluaron a través del capítulo se demuestra que del 100% del gas obtenido alrededor del 50% es metano, lo cual permite evidenciar las

ventajas de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta que el metano es uno de los gases con mayor potencial de calentamiento global.

Autores

6.2.Capítulo 2: Análisis de las cuestiones técnicas y ambientales

En el presente capitulo se abordan las cuestiones técnicas y ambientales que se deben tener en consideración para la creación de un MDL, para ello, se realiza una explicación de las variables que influyen en la generación de biogás y las posibilidades de uso, esta aplicación está ligada a un estudio de caso a modo de ejemplo desarrollado sobre el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, el cual, ya posee un MDL validado, sin embargo, para la investigación se realiza el desarrollo del MDL del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo dadas las condiciones y las metodólogas actuales.

6.2.1. Cuestiones Técnicas

Las variables técnicas que determinan la capacidad de generación de biogás en rellenos sanitarios corresponden a:

Variables técnicas:

- La humedad
- La temperatura
- La cantidad de materia orgánica
- El pH

Para la solicitud de MDL, el ente encargado es la UNFCCC. Y en cuyo tramite debe considerarse el documento diseño de proyectos, PDD por su denominación en inglés

Project Design Document, mediante este documento se presenta la información del proyecto a la UNFCCC y a los interesados, existen tres formatos PDD de acuerdo a la finalidad del proyecto el primer formato titulado CDM-AR-PDD-FORM es el formato de diseño de proyectos MDL para forestación y reforestación, el segundo formato, denominado, CDM-CCS-PDD-FORM es para el diseño de proyectos relacionados con la captura de carbono, y, por último, CDM-PDD-FORM es para los proyectos de pequeña y gran escala que no estén relacionados con forestación y reforestación, ni tampoco con la captura exclusiva de CO_2Por lo tanto, se analizarán las cuestiones técnicas bajo la guía de los documentos para proyectos CDM-PDD-FORM versión 10.1, esto debido a que los MDL en rellenos sanitarios no aplican para forestación o reforestación, ni como captura de CO_2.

Dentro de este formato, en la sección A denominada Descripción del Proyecto, debe incluirse información relacionada con la explicación del propósito general del proyecto, su ubicación, las tecnologías a usar, los participantes y otros temas generales del proyecto, en la sección B se presenta la aplicación de la metodología seleccionada, en la sección C se identifica la fecha de inicio el tipo de periodo de acreditación y su duración.

Para diligenciar este formato de validación, es importante ya haber aplicado una metodología de línea base, ya que deben incluirse estos datos y su procedencia, por lo tanto, se definirá primero la metodología apropiada y su aplicación.

Por consiguiente, para la selección de la metodología es necesario definir cuando un proyecto es de gran escala o de pequeña escala para ello, los dictámenes de la CMNUCC dictan las definiciones, dicha Comisión mediante decisión 1/CMP.2 de 2006, establece en

su parágrafo 28 una revisión y planteamiento de los proyectos de pequeña escala, los cuales se presentan en la Tabla 13 y los cuales ya habían sido definidos mediante decisión 15/CP7.

Tabla 12:

MDL de pequeña escala.

Tipo	**Características**
I	Proyectos de energía renovable con una capacidad de producción máxima de 15 MW/año o equivalente.
II	Proyectos relacionados con mejoras de eficiencia energética con reducción del consumo de energía, en la oferta o la demanda, deberá limitarse a una capacidad de producción máxima de 60 GWh al año o equivalente.
III	Otros proyectos, deberá limitarse a una reducción de emisiones menor o igual a 60 kt CO2 equivalente al año

Fuente: Adaptado de UNFCCC, s.f.

Esta nueva decisión categoriza los proyectos de pequeña escala en tres tipos, el primer tipo permanece igual a la decisión anterior, en cuanto a la capacidad de generación de hasta 15MW (Mega watts) se refiere en proyectos de energías renovables, el segundo tipo cambia de 15 GWh (Giga watts) al año a 60 GWh al año para proyectos de eficiencia energética, por último, el tercer tipo son aquellos proyectos que no necesariamente estén relacionado con eficiencia energética o energía renovables, por esa razón se mide en kt CO_2 equivalente (Kilo toneladas equivalente de CO_2), y aplica para proyectos que reduzcan en un valor menor o igual a 60 kt CO_2 equivalente de GEI, anteriormente se consideraban de pequeña escala los MDL que reducían hasta 15 kt CO_2 equivalente. De acuerdo con lo

anterior, los proyectos de gran escala son todos aquellos MDL que no poseen las características de un proyecto de pequeña escala (UNFCCC, s.f)

Para los proyectos de gran escala existen dos metodologías de línea base para rellenos sanitarios, tal como se mencionó anteriormente en el titulo 5.1.5. estas metodologías son ACM0001 para MDL de gran escala y AMS-III.G. para MDL de pequeña escala. La metodología ACM0001 aplica para proyectos que incluyen la destrucción de emisiones de metano y adicionalmente pueden realizar una captura con otros fines como: captura, combustión, generación de energía y/o reemplazar gas natural en la red eléctrica, o a través de tubería o carrotanques. Estas posibilidades finales del gas pueden usarse de manera individual o de manera conjunta (UNFCCC, 2017).

La metodología AMS-III.G es para proyectos MDL de pequeña escala de captura y combustión de metano proveniente de rellenos sanitarios o sitios usados para la disposición d residuos sólidos provenientes de la actividad humana que contienen materia orgánica biodegradable (UNFCCC, 2014). Cabe aclarar que un proyecto puede usar herramientas de otra metodología siempre y cuando sean acordes a las actividades del proyecto.

A continuación, se presenta el estudio de caso, en el cual se realiza la descripción del proyecto a grandes rasgos de acuerdo con la guía de PDD y la aplicación de la metodología seleccionada con énfasis en la influencia de las variables, la metodología implementada es ACM0001 titulada quemado o uso de gas de rellenos sanitarios, ya que esta metodología es la más frecuente en los MDL de gran escala en rellenos sanitarios del país, con herramientas de otras metodologías para cálculos de otras variables a las cuales la misma metodología redirecciona.

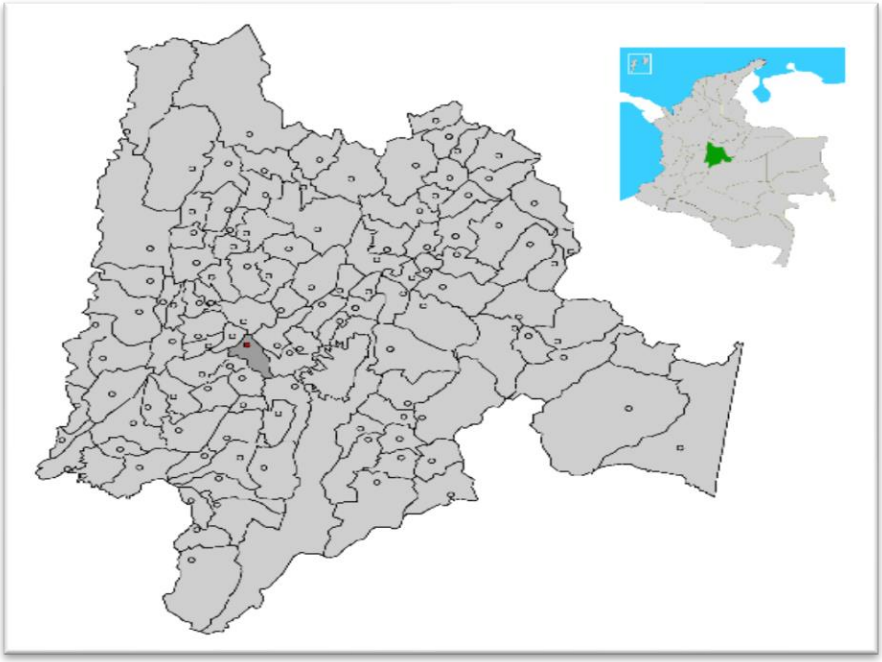
6.2.1.1. Descripción general del proyecto.

El proyecto consiste en captura y aprovechamiento de un GEI, el gas metano, por ser uno de los gases más representativos en las actividades de un relleno sanitario, además, de capacidad de uso como insumo de otras fuentes de energía.

6.2.1.2. Ubicación del proyecto.

El proyecto se ubica dentro del área geográfica licenciada del relleno sanitario modelo, el cual se encuentra dentro del municipio de Bojacá perteneciente al Departamento de Cundinamarca tal como se muestra en la Figura 7 Municipio de Bojacá, en su mayoría el relleno sanitario se encuentra en la vereda el Fute y la vereda Barroblanco. se ubica al costado oriental de la vía Mosquera-La Mesa en el kilómetro 9.

Figura 5:
Municipio de Bojacá



Fuente: Página web municipio de Bojacá.

1.1.1.3. Alcance del proyecto.

Los principales alcances son la formulación de medidas técnicas y ambientales para el aprovechamiento de biogás en el relleno sanitario modelo y el cumplimiento de los parámetros de certificación de MDL.

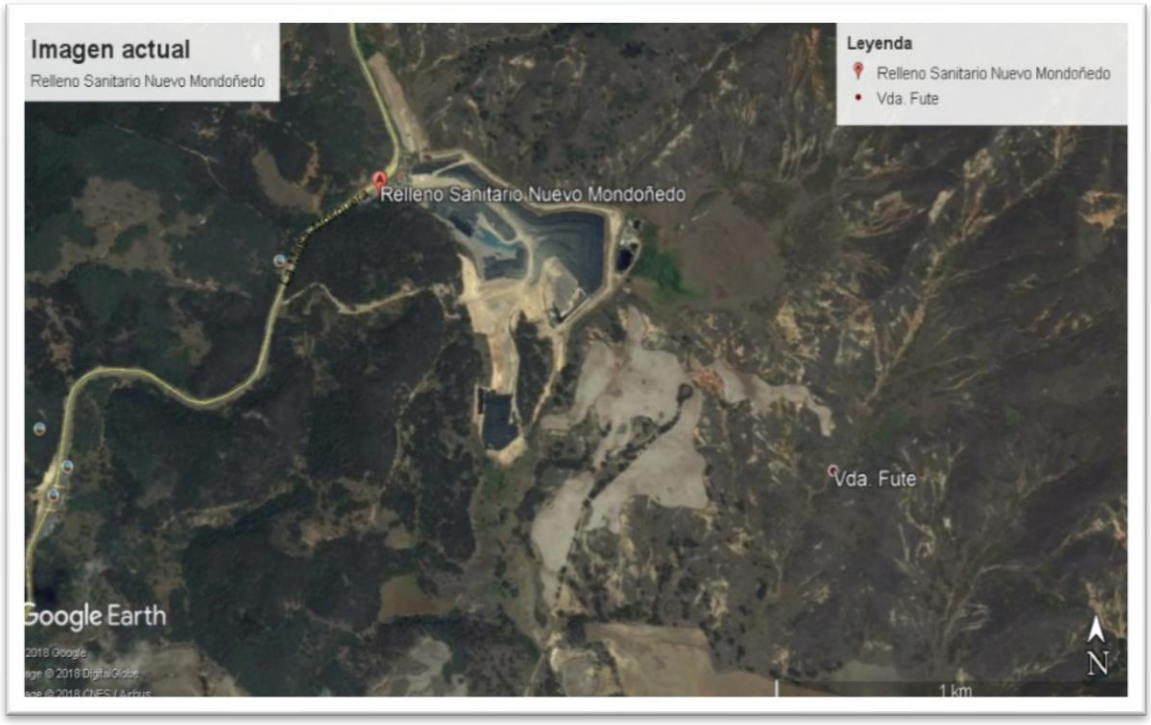
6.2.2. Línea base

Las condiciones climáticas del municipio de Bojacá, como parte del suroccidente del altiplano de Bogotá, consisten en una precipitación anual de 600 mm en promedio, una temperatura de 12 a 18 °C y una evapotranspiración potencial anual de entre 800 a 1.000 mm, su altura promedio de 2.600 metros sobre el nivel del mar de acuerdo con su página oficial.

El relleno sanitario dispone alrededor de 1.450 toneladas de residuos al día, estos residuos provienen de residuos domésticos, comerciales e industriales de 81 municipios del departamento de Cundinamarca. Tiene proyectada una vida útil de 12 años y en la actualidad el terreno del proyecto es de 76 hectáreas, de las cuales se han utilizado 16 hectáreas según información de la Resolución ANLA número 00449 de 2018.

Figura 6:

Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

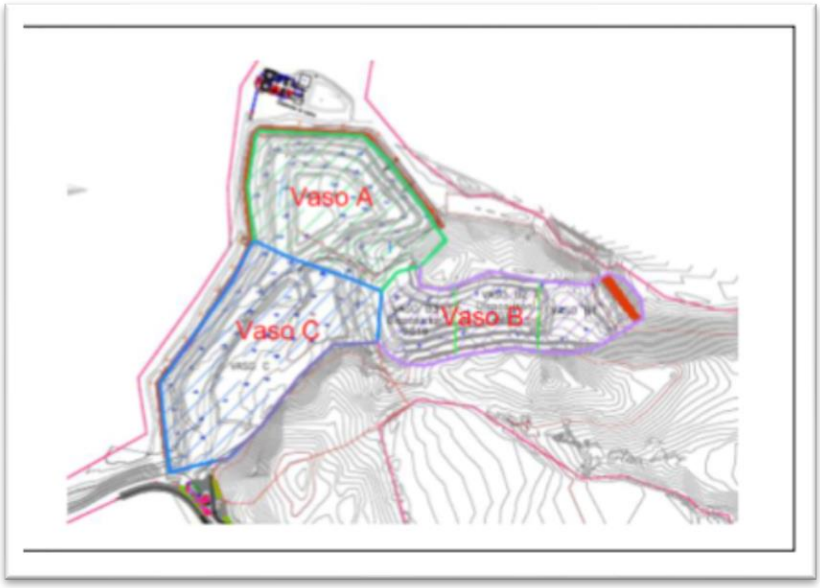


Fuente: Google Earth

La disposición de los residuos se hace, en áreas denominadas vasos de relleno de residuos sólidos, El relleno sanitario posee tres vasos de relleno nombrados como: Vaso A, vaso B y Vaso C, y a su vez, cada vaso tiene fases de disposición que se completan gradualmente, también, el relleno sanitario cuenta con una planta de tratamiento de lixiviados de osmosis inversa.

Figura 7:

Distribución vasos relleno sanitario Mondoñedo



Fuente: Resolución N° 00449 del 02 de abril de 2018

6.2.2.1. Línea base MDL.

En el planteamiento de la línea base a definir, sigue la metodología de la UNFCCC, AMS-III.G, por lo tanto, se formulan los datos de emisiones de los escenarios con proyecto y sin proyecto, donde el primer escenario (sin proyecto) es una línea base que hace referencia a los gases producidos por el relleno sanitarios (por sus siglas en ingles LFG, landfill gas), estos gases se producen desde el inicio la acumulación de desechos en el mismo, hasta el final de su vida útil sin ningún tipo de intervención y en cuyo caso los gases son liberados a la atmosfera. El segundo escenario, hace referencia a la implementación de tecnologías para la reducción o aprovechamiento de los LFG para la disminución de GEI, y esta línea base, excluye los gases de metano, los cuales serán

aprovechados por el escenario con proyecto. A continuación, se realiza una explicación de la metodología seleccionada.

Paso 1. Escenario Línea Base de emisiones.

Paso 1.1. Línea base para la recuperación de metano del relleno sanitario.

Para el cálculo de las estimaciones de LFG es importante recalcar que la metodología AMS-III.G de la UNFCCC, se estable precisamente para la validación de proyectos de MDL que realicen la combustión o el uso de los gases en rellenos sanitarios. Ahora bien, con los parámetros de esta metodología se realiza la estimación teórica del CH4 producidos en el relleno sanitario. Según la metodología mencionada la ecuación para la estimación de la línea base de escenario, es la siguiente:

$$BE_y = \eta_{PJ} \cdot BE_{CH4,SWDS,y} - (1 - OX) \cdot F_{CH4,BL.y} \cdot GWP_{CH4}$$

Ecuación 7.1.

Donde,

BEy = Línea base de emisiones en año energía (tCO2e/año)

ηPJ = Eficiencia del sistema de captura de LFG (%)

BECH4, SWDS, y = Potencial anual de emisiones de metano (%).

OX: Factor de oxidación

FCH4, BL, y = Emisiones de metano que serán capturadas.

GWPCH4 = Potencial de calentamiento global del metano.

El valor de eficiencia del sistema de captura, ηPJ, se calculó, a través de la herramienta de la hoja de cálculo del Modelo Colombiano de Biogás de Rellenos Sanitarios v.1, que la operadora del relleno sanitario presentó a la UNFCC en 2015, se modificaron los datos correspondientes a la disposición del año más reciente, las toneladas dispuestas, el año de clausura del relleno sanitario, y los porcentajes de cobertura de acuerdo con concepto técnico de la ANLA No. 00618 del 23 de febrero de 2018. Con base en lo anterior, el valor del sistema de eficiencia es de 26%.

Paso 1.2. Línea base de emisiones para el sistema de generación eléctrica renovable.

Corresponde aplicar la metodología AMS-I-D versión 18, para el escenario de emisiones de generación eléctrica a partir de biogás, para ello, se usa la herramienta "Tool to calculate the emisión factor for an electricity system" para calcular el factor de emisión para el sistema de electricidad a partir de metano, de acuerdo con lo anterior, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$BE_Y = EG_{PJ,y} \cdot EF_{grid,y}$$

Ecuación 7.2.

Donde,

BEy = Línea base de emisiones en año energía (tCO2e/año)

EGPJ, y = Cantidad de generación de la red eléctrica producida por la implementación del MDL en el año y (MWh)

EFgrid,y = Combinación marginal del factor de emisión. (Ton CO2/MWh)

El valor de EGPJ, y, se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$EG_{PJ,y} = EG_{facility,y}$$

Ecuación 7.3

Con lo cual, el valor de $EG_{facility,y}$, corresponde a la capacidad de generación de la unidad o planta que se implemente para la generación de energía, el valor de 14.705 MWh/y es el valor de generación electrica proyectada por Mondoñedo a la UNFCCC.

La combinación marginal de factor de emisión, EFgrid,y , se toma de la normativa colombiana, en la cual, mediante la resolución 857 de diciembre 24 de 2015 de la UPME "por la cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) ". Por lo tanto, el valor aplicable al factor marginal de GEI es de 0.388 Ton CO_2/MWh.

Por lo tanto:

$$BE_Y = \frac{14705 MWh}{\text{año}} \cdot 0.3\,88\ on \frac{CO_2e}{MWh} = 5705\ Ton \frac{CO_2e}{\text{año}}$$

Ecuación 7.4

El resultado de BEy corresponde a las toneladas de generación eléctrica equivalentes en toneladas de CO_2 que será el mismo valor para cada año de vida útil del proyecto.

Paso 2. Proyección de emisiones.

Paso 2.1. Proyección de emisiones para la recuperación de metano.

La metodología determina tres posibles casos en los cuales se debe aplicar de acuerdo con el objeto del proyecto, de acuerdo, con la metodología ACM-0001 quemado o uso de gas en rellenos sanitarios, se usa el caso uno y la aplicación A debido a que, la actividad del proyecto mitiga las emisiones de metano de específicamente un relleno sanitario. A continuación, en base a la herramienta de "Emissions from solid waste disposal sites" se calculan las potenciales emisiones de metano de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$BE_{CH4,SWDS,y} = \varphi_y \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_{f,y} \cdot MCF_y \cdot \sum_{x=1}^{y} \sum_{j} (W_{j,x} \cdot DOC_J \cdot e^{-kjk(y-x)} \cdot (1 - e^{-kj}))$$

Ecuación 7.5.

$BE_{CH4,SWDS,y}$ = Potencial anual de emisiones de metano.

φy = Factor de corrección del modelo.

fy = Fracción de metano que es capturado o quemado, combustionado o usado de otra manera que prevenga las emisiones de metano en el año y.

GWP_{CH4} = Potencial de calentamiento global del metano.

OX = Factor de oxidación.

F = Fracción de metano en los LFG.

DOCf,y = Fracción de carbón orgánico degradable que se descompone en el sitio de disposición.

MCFy = Fracción de corrección para el año y.

Wjx = Cantidad de tipos de residuos dispuestos.

DOCj = Fracción de carbón orgánico en el tipo de desecho j.

kj = Tasa de decaimiento de acuerdo con el tipo de desecho.

A continuación, se realiza una resumida explicación de los componentes de la ecuación y los valores que corresponden de acuerdo con el objeto de estudio y la herramienta 04 versión 08 de la metodología ACM0001.

Para el cálculo del factor de corrección φy, la metodología ACM0001 indica que podemos calcular el factor de corrección para el proyecto cuando sean situaciones específicas, o, usar los valores por defecto que varían según la aplicación del proyecto y las condiciones de humedad del sitio donde se ubica el relleno sanitario, los valores por defecto se muestran en la tabla 14, en el cual el valor correspondiente del factor de corrección para el presente proyecto es de φy = 0.75, esto debido a que la aplicación del proyecto es A.

Tabla 13:

Valores para el factor de corrección del modelo.

	Condición de humedad	Condición seca
Aplicación A	0.75	0.75
Aplicación B	0.85	0.80

Fuente: UNFCCC, Methodological tool: Emission from solid waste disposal sites Version 08.0

El valor de fy representa la fracción de metano que puede ser capturado y quemado, o, transformado y usado, el cual por defecto adquiere un valor igual a 0, debido a la aplicación A del proyecto.

El potencial global de calentamiento del metano, GWPCH4, se presenta en las unidades t CO2e/ t CH4, la herramienta da un valor por defecto de 25 para el primer periodo del compromiso.

La oxidación OX, hace referencia al proceso que ocurre en los residuos cuando las bacterias metano tróficas degradan el gas metano produciendo CO_2, por lo tanto, el valor de oxidación representa la porción de metano que ha sido oxidado a CO_2 por bacterias. La UNFCCC a través de una extensiva revisión literaria que se incluye en las Directrices del IPCC para Realizar Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del año 2006 determinó que el valor recomendado de oxidación OX es de 0.1., valor que se utiliza por defecto para el presente proyecto acorde con la metodología.

El siguiente valor es el de la fracción que representa el metano en el total de los gases que se producen en el relleno sanitario, F, este valor es igual para todas las aplicaciones, al igual que el valor de oxidación OX, también, se define en las Directrices del IPCC para Realizar Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del año 2006, teniendo en cuenta que son varios los gases que se producen en un relleno sanitario la UNFCCC estipula que la fracción de metano es de F = 0.5. Otro valor por defecto ya estipulado es el de la fracción de carbón orgánico degradable que se descompone en el sitio de disposición, DOCf,y, cuyo valor determinado es de 0.5.

El valor de MCFy, indica una fracción de corrección del metano que corresponde a las condiciones de exposición aeróbicas o anaeróbicas que permita el relleno sanitario, para determinar su valor se debe tener en cuenta lo estipulado en la metodología, cuando en el relleno sanitario existen cuerpos de agua o recurso hídrico es necesario calcular la fracción de corrección con una serie de ecuaciones, ya que parte de la degradación es anaeróbica. Pero en caso contrario, si el relleno sanitario no tiene dentro del área del proyecto, recurso hídrico asociado, el factor de corrección del metano debe seleccionarse de acuerdo con lo expuesto en la tabla 15 de MFCdefault. Por lo tanto, para la aplicación A, en ausencia de recurso hídrico, se debe considerar:

$$MCF_y = MCF_{default}$$

Expuesto lo anterior, el factor de corrección para el relleno sanitario, dadas las condiciones aeróbicas del mismo, es de 1.0.

Tabla 14:

Parámetros de selección factor de corrección por defecto $MCF_{default}$.

Escenario	**Condición**	**Características**	**$MCF_{default}$**
A	Sitios de disposición de residuos sólidos anaeróbicos	Hace referencia a una disposición controlada de residuos. por lo tanto, se infiere que: - Los residuos se direccionan a áreas específica, con control de la excavación, de incendios y, - Posee por lo menos una de las siguientes características: cobertura de material, maquina compactadora, o nivelación de residuos.	1.0
B	Sitios de eliminación de desechos sólidos semi-aeróbicos	Son los sitios que poseen una disposición controlada pero que, además, incluyen sistemas de introducción de aire a los residuos, esto puede darse a través de: -Cobertura de materiales permeables. -Sistema de drenaje de lixiviados. -Regulación de vertedero. -Sistema de ventilación de gas.	0.5
C	Sitios de disposición de residuos sólidos no gestionados - profundos.	Esta categoría es para aquellos sitios de disposición que no cumplen con los criterios de administración de sitios de disposición de residuos sólidos y cuya profundidad o altura son igual o cercanos a 5 metros.	0.8

D	sitios de disposición de residuos sólidos poco profundos- no gestionados o botaderos, considerados como sitios de disposición.	Son los sitios de disposición que no cumplen con los criterios de administración de sitios de disposición de residuos sólidos y cuya profundidad o altura son menores a 5 metros.	0.4

Fuente: Autoras.

El valor de Wjx, es un porcentaje para los proyecto de aplicación A, en el cual, se muestra la cantidad de cada tipo de residuos sólidos que se dispone en el relleno sanitario durante el primer año, la tabla 16 muestra los valores correspondientes de Wjx, los cuales, se presentan con las seis categorías de residuos de tabla 16, y se consignan los datos de la composición de los residuos del relleno sanitario de acuerdo a datos presentados a la UNFCC en el 2015, por medio del modelo colombiano de Biogás de 2010.

Dicho lo anterior, se evidencia que el primer tipo de residuo representativo en el total de residuos, son los residuos de comida con un porcentaje de 52, es decir, que alrededor de la mitad de los residuos del relleno, son residuos de comida, bebidas y tabaco los cuales en la actualidad equivalen a 721.6 Toneladas al día. En segundo lugar, los residuos de tipo inerte con 23.8%, estos son plástico, vidrio y metal, los cuales alcanzan la cantidad de 330,3 toneladas/día y, en tercer lugar, están los textiles con un porcentaje de 10.2% y un equivalente a 141.5 toneladas al día.

Tabla 15:

Composición de los residuos del relleno sanitario.

Tipo de residuo *j*	**W_{jx} (% en los residuos)**
Madera y productos de madera	2.7
Papel y cartón (residuos que no sean lodos)	8.3
Comida, residuos de comida, bebidas y tabaco (residuos que no sean lodos)	52
Textiles	10.2
Residuos de jardines, patios y parques	3.2
Vidrio, pastico, metal y otros desechos inertes	23.8
Total	100

Fuente: Iniciativa de Metano para Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, s.f.

El factor DOC_j es el parámetro que indica la fracción de degradación del carbón orgánico en cada tipo de residuo *j*. Para este parámetro la UNFCCC indica los valores de la fracción a través de la categorización de los residuos en seis grupos, tal como se muestra en la tabla 17. Por lo tanto, al identificar los tipos de residuos dispuestos en el relleno sanitario la fracción de degradación es del 50%.

Tabla 16:

Valores por defecto para ***DOC_j*.**

Tipo de residuo *j*	**DOC_j (% de humedad en los residuos)**
Madera y productos de madera	43
Papel y cartón (residuos que no sean lodos)	40
Comida, residuos de comida, bebidas y tabaco (residuos que no sean lodos)	15
Textiles	24
Residuos de jardines, patios y parques	20
Vidrio, pastico, metal y otros desechos inertes	0

Fuente: UNFCCC, Methodological tool: Emission from solid waste disposal sites Version 08.0

Por último, k_j indica el valor considerado como decaimiento del tipo de residuo. Para su cálculo es necesario conocer los datos de la temperatura anual (por sus siglas en ingles MAT-mean anual temperature), el valor anual de la precipitación (MAP- mean anual precipitation), el potencial de evapotranspiración - ETP, (PET- potential

evapotranspiration) y seleccionar el valor conveniente según los valores concatenados en la tabla 18.

Tabla 17: Valores de la tasa de decaimiento K_j.

Degradación	Tipo de residuo *j*	Boreal y Templado (MAT ≤20°C)		Tropical (MAT>20°C)	
		Seco (MAP/PET<1)	Húmedo (MAP/PET>1)	Seco (MAP<1000mm)	Húmedo (MAP/PET >1000 mm)
Degradación lenta	Papel, cartón y textiles (residuos que no sean lodos)	0.04	0.06	0.045	0.07
	Madera, productos de madera y paja.	0.02	0.03	0.025	0.035
Degradación moderada	Otros (no comida) orgánicos de jardines y residuos de parques	0.05	0.10	0.065	0.17
Degradación rápida	Comida, residuos de comida, lodos residuales, bebidas y tabaco	0.06	0.185	0.085	0.40

Fuente: UNFCCC, Methodological tool: Emission from solid waste disposal sites Version 08.0

Para establecer los valores de k_j se retoman los datos expuestos al inicio de la línea base, en los cuales se expuso lo siguiente; la precipitación anual es de 600 mm en promedio, la temperatura oscila entre los 12 y 16 °C y el potencial de evapotranspiración se encuentra entre los 800 y 1000 mm en promedio al año. Con lo anterior, identificamos en primer lugar que debemos centrarnos en los datos de boreal templado dado la temperatura ≤ 20°C, en segundo lugar, aplicamos la ecuación 7.6. con el valor de precipitación y el dato medio para el potencial de evapotranspiración.

$$\frac{MAP}{ETP} = \frac{600\ mm}{800\ mm} = 0.75$$

Ecuación 7.6.

Con el resultado de la ecuación 7.6. se identifican los valores de decaimiento para cada tipo de degradación, los cuales corresponden a la columna de clima seco ya que MAP/ ETP 0.75< 1.

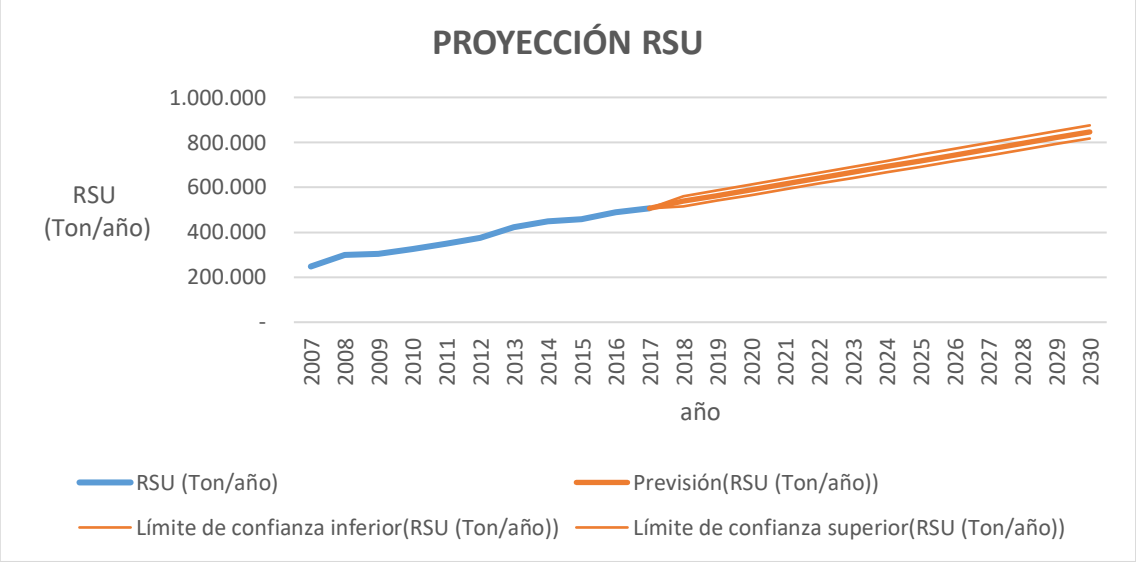
De acuerdo con la metodología se calcula parte de la ecuación 7.1. con los datos obtenidos anteriormente, los cuales se resumen de la siguiente manera, para φ_y = 0.75, f_y = 0, GWP_{CH4} = 25, OX = 0.1, F= 0.5, DOC_f = 50% y MCF_y= 1.0, el resultado de este primer paso se multiplica por el resultado de W_{jx}, DOC_j y k_j de cada año, tales operaciones y paso a paso, se encuentran en el Anexo 1.

De acuerdo con datos de los operadores del relleno sanitario a la UNFCCC, la cantidad de residuos dispuestos desde el año 2007, año en que inicio operaciones el relleno sanitario, hasta el año 2015, el aumento de la cantidad de residuos dispuestos, supera el 1%, este valor oscila en un porcentaje igual o mayor al 3% anual. Los datos se reflejan en la gráfica 2, los RSU de los años 2016 y 2017 fueron tomados de lo reportado en el Sistema

Único de Información de Servicios Públicos Domiciliario (SUI). Posteriormente, con los datos mencionados anteriormente, del 2007 hasta el 2017, se realizó el cálculo de las proyecciones de RSU a partir del año 2018 hasta el año 2030, a través, de una fórmula de interpolación y cuyos datos específicos se presentan en el Anexo 1.

Gráfica 2:

Proyección de residuos sólidos relleno sanitario.



Fuente: Proyecciones generadas a partir de los datos consignados en la Plataforma SUI.

En la gráfica 1, se identifica un aumento histórico de los RSU durante los primeros 10 años de vida útil del relleno sanitario; a partir de la tendencia de ese crecimiento se prevé un aumento de la disposición de RSU en el relleno sanitario para el resto de su vida útil, es decir, hasta el año 2030. En la tabla 16, es posible evidenciar los datos de disposición por cada año del proyecto.

Tabla 18:

RSU dispuesto en el relleno sanitario.

Ton RSU vida útil del proyecto			
Año	RSU (Ton/año)	Año	RSU (Ton/año)
2007	247.778	2019	563.455
2008	299.979	2020	589.175
2009	304.396	2021	614.894
2010	326.282	2022	640.614
2011	348.505	2023	666.333
2012	376.239	2024	692.053
2013	421.843	2025	717.772
2014	448.176	2026	743.492
2015	457.909	2027	769.211
2016	488.596	2028	794.931
2017	506.556	2029	820.650
2018	537.736	2030	846.370
Total			13.222.945

Fuente: Autoras

Los valores de $BE_{CH4,\,SWDS,\,y,}$ deben ahora incluirse dentro de la ecuación 7.1., para la última, la variable, $F_{CH4,\,BL,\,y\,,}$ las emisiones que deben ser capturadas acorde con requerimientos legislativos, el valor es cero (0) , debido, a que en Colombia no existen

obligaciones con respecto a la implementación de sistemas de captura de LFG y según la metodología para aquellos casos donde no existan obligaciones estatales el valor es a usar debe ser 0. Acorde con lo anterior, la línea base de emisiones para el relleno sanitario, para el periodo a acreditar se presenta en la tabla 20.

Tabla 19:

Línea base de emisiones.

Año	BEY TCO2E/AÑO
2019	42.958
2020	47.138
2021	51.614
2022	56.360
2023	61.351
2024	66.312
2025	71.247
2026	76.161
2027	81.057
2028	86.190
2029	91.539
2030	96.830

Fuente: Autoras

Paso 2.2. Reducción de emisiones de la generación eléctrica renovable.

Este paso hace referencia a el uso de combustibles fósiles o de otras fuentes de energía para la implementación del proyecto, por lo tanto, el valor es cero, ya que el proyecto usa exclusivamente la energía generada por la captura de gas del relleno sanitario sin el uso de otros tipos de combustibles.

Paso 3. Recuperación de emisiones metano para el relleno sanitario.

Paso 3.1. El total de las emisiones del proyecto.

Basado en la metodología éste total corresponde a la sumatoria, en primer lugar, de las emisiones de CO_2 y/o de otras fuentes de energía implementadas en el proyecto, cuyo valor, como se mencionó en el Paso 2.2. equivale a cero. En segundo lugar, a las emisiones derivadas del quemado o combustión de la corriente de gas, y, por último, las derivadas del proceso de actualización (aumento anual) de los gases del relleno sanitario, donde sea aplicable. La ecuación 7.7. determina este parámetro.

$$PE_Y = PE_{Power,y} + PE_{flare,y} + PE_{process,y}$$

Ecuación 7.7.

Donde,

PE_y = Emisiones proyectadas en el año y (tCO_2e).

$PE_{Power,\ y}$ = Emisiones del uso de otras fuentes de energía en el año y (tCO_2e).

$PE_{flare,\ y}$ = Emisiones de la quema o combustión de la corriente de gases en el año y (tCO_2e).

$PE_{process,\ y}$= Emisiones del proceso de actualización de gases en el año y (tCO_2e).

El cálculo de las emisiones de quema o combustión del proyecto, $PE_{flare, y}$ se calcula de acuerdo con tres pasos en los cuales de determina la masa del flujo de metano y la eficiencia del proyecto a unidades por minuto y de acuerdo con el monitoreo de gases, y su porcentaje, para la determinar estos factores se tomaron los datos de Methane to Market en un informe de evaluación para el relleno sanitario en el año 2010. En el cual, retoman la información de la tabla 21, sobre el porcentaje de los gases más representativos del relleno sanitario.

Tabla 20:

Caracterización gases del relleno sanitario.

Prueba	**CH_4 (%)**	**CO_2 (%)**	**O_2 (%)**	**Balance (%)**	**Temperatura del gas (°C)**	**Presión barométrica (mb)**
1	55	44,3	ND	0,1	29,6	744
2	53,8	44,1	0,4	0,7	37,8	746
3	54,8	44,5	ND	0,1	40,9	744
4	53,3	44,1	ND	0,1	37,7	745

Fuente: Citado por SCS ENGINNERS-Methane Markets de una prueba de laboratorio de STIL S.A. E.S.P. en marzo 13 de 2009

En la tabla anterior, se identifica que el valor del metano (CH_4) presente en los gases del relleno sanitario corresponde a un promedio de 54.2%, el dióxido de carbono (CO_2) está presente en 4.2% y, por último, el oxígeno (O_2) con 0.4%.

Paso 3.1.1. Determinación del flujo de masa de metano de gas residual.

De acuerdo con la metodología, para este cálculo existe varias posibilidades, se selecciona la opción C, debido a las características del proyecto y los datos disponibles, de acuerdo con lo anterior la opción indica que debe determinarse el flujo de metano en el gas residual de acuerdo a:

$$\boldsymbol{F}_{CH4,m} = V_{m,wb,n} \cdot \boldsymbol{v}_{m,wb,n} \cdot \boldsymbol{\rho}_{ch4,n}$$

Ecuación 7.8.

$\boldsymbol{F}_{CH4,\,m}$ = Flujo de gas metano en un minuto (*m*) (dado en kg CH_4/ min)

$\boldsymbol{V}_{m,\,mb,\,n}$ = Medida volumétrica del flujo gaseoso en un intervalo de tiempo *t*, con base a condiciones normales de humedad (m^3 seco gas/h).

$\boldsymbol{v}_{m,\,mb,\,n}$ = Medida volumétrica de GEI *i*, del flujo gaseoso en un intervalo de tiempo *t*, con base a condiciones normales de humedad. (m^3 gas *i*/ m^3 humedad gas)

$\rho_{CH4,m}$ = Densidad de metano en condiciones normales (kg CH_4/m^3 CH_4)

Cabe resaltar, que la aplicación de las fórmulas se encuentra disponible en el anexo 1. Con dicha aclaración, procedemos a explicar lo siguiente, la densidad del metano $P_{CH4,\,m}$ se determina con la ecuación 7.9, que se muestra a continuación.

$$\rho_{CH4,m} = \frac{P_n \cdot MM_i}{R_U \cdot T_u}$$

Ecuación 7.9.

Donde,

$\rho_{CH4,m}$ = Densidad de metano en condiciones normales (kg CH_4/m^3 CH_4)

P_n= Presión absoluta en condiciones normales (Pa)

$MM_i = MM_{CH_4}$ = Masa molecular de metano. (kg/ kmol)

R_U = Constante universal de gases (Pa· m^3/kmol· K)

T_u = Temperatura de condiciones normales (K)

La variable $\boldsymbol{V}_{m,\,mb,\,n}$ de la ecuación 7.8. se determina de acuerdo con la siguiente ecuación relacionada con los escenarios de presión y temperatura de los gases:

$$\boldsymbol{V}_{t,wb,n} = \boldsymbol{V}_{t,wb} \cdot [(\boldsymbol{T}_n/\boldsymbol{T}_t) \cdot (\boldsymbol{P}_t/\boldsymbol{P}_n)]$$

Ecuación 7.10.

Donde,

$\boldsymbol{V}_{t,wb,n}$ = Medida volumétrica del flujo gaseoso en un intervalo de tiempo *t*, con base a condiciones normales de humedad (m^3 seco gas/h).

$\boldsymbol{V}_{t,wb}$ = Medida volumétrica del flujo gaseoso en un intervalo de tiempo *t*, en condiciones normales de humedad (m^3 seco gas/h).

$\boldsymbol{T}_n$ = Temperatura de condiciones normales (K).

$\boldsymbol{T}_t$ = Temperatura del flujo de gases en un minuto m (K).

$\boldsymbol{P}_t$ = Presión del flujo de gases en un minuto m (Pa).

$\boldsymbol{P}_n$ = Presión absoluta en condiciones normales (Pa).

Pt =Para la determinación de la eficiencia se considera.

Paso 3.1.2. Determinación de la eficiencia.

De acuerdo con la herramienta "Project emissións from flaring", se ha seleccionado la opción A para determinar la eficiencia de quemado, la cual indica, que la eficiencia de llamarada en un minuto es del 90%. Por lo tanto,

$\eta_{flare,m}$ = Eficiencia del sistema en un minuto *m*.= 0.90

En la tabla 22 se presentan los datos de las ecuaciones anteriores del paso 3.1.1, con los cuales se calculan la ecuación 7.11.. del paso 3.1.3 y se obtiene el valor de gas residual para cada año del proyecto.

Tabla 21:

Resumen de variables para el cálculo de los gases residuales.

Año	$V_{t,wb}$	$V_{t,wb,n}$	$F_{CH4,\ m}$
2019	2.032	1.424	533
2020	2.230	1.563	585
2021	2.441	1.711	641
2022	2.666	1.869	700

2023	2.902	2.034	762
2024	3.137	2.198	823
2025	3.370	2.362	884
2026	3.602	2.525	945
2027	3.834	2.687	1.006
2028	4.077	2.858	1.070
2029	4.330	3.035	1.136
2030	4.551	3.190	1.194

Fuente: Autoras

Paso 3.1.3. Calculo de proyección de combustión.

La proyección de emisiones de combustión se encuentra en la suma de las emisiones de cada minuto en u año, basado en la masa residual del metano $\boldsymbol{F}_{CH4,,RG,\,m}$, y el porcentaje de eficiencia para cada año del proyecto.

$$\boldsymbol{PE}_{flare,y} = \boldsymbol{GWP}_{CH_4} \cdot \sum_{m=1}^{525.600} \boldsymbol{F}_{CH_4RG,m} \cdot 1 - \eta_{flare,m} \cdot 10^{-3}$$

Ecuación 7.11.

Donde,

$\boldsymbol{PE}_{flare,y}$ = Proyección de emisiones de los gases residuales en el año *y* (tCO_2e)

$\boldsymbol{GWP}_{CH4}$ = Potencial de calentamiento global del metano valido para el periodo del proyecto (tCO_2/ tCH_4).

$\boldsymbol{F}_{CH_4RG,m}$ = Flujo de masa de metano en el gas residual en un minuto *m* (kg)

$\eta_{flare,m}$ = Eficiencia del sistema en un minuto *m*.

El procedimiento de los cálculos puede revisarse en el anexo 1, en la tabla 23, se muestra el valor de las emisiones de combustión proyectadas para cada año a modo de resultado.

Tabla 22:

Proyección de emisiones anuales.

Año	**PE flare**
2019	11.518,4
2020	12.639,0
2021	13.839,3
2022	15,111.8
2023	16,450.1
2024	17,780.2
2025	19,103.6
2026	20.421,1
2027	21.733,8
2028	23.110,3
2029	24.544,5
2030	25.798,5

Fuente: Autoras

Paso 4. Reducción de Emisiones

En este paso se retoman las proyecciones de los pasos anteriores para determinar la reducción total de gases.

Paso 4.1. Reducción de emisión por la recuperación de metano del relleno sanitario.

La reducción de emisiones generada por las actividades del proyecto puede estimarse a través, de la ecuación 8.9, para la cual se debe tener en consideración que el valor tomado para las fugas por año LE_y, es cero, esto debido a que hace referencia fugas de interconexión de otros sistemas, los cuales no se incluyen dentro del proyecto.

$$ER_{y,estimated} = BE_y - PE_y - LE_Y$$

Ecuación 7.12.

Donde,

BE_y = Línea base de emisiones en el año y (tCO_2)

PE_y = Proyección de emisiones en el año y (tCO_2)

LE_y = Fugas en año y (tCO_2)

$ER_{y, estimated}$, corresponde a $ER_{y, calculated}$, de esta manera y según lo estipulado en la ecuación 7.12. el valor se adquiere de la cantidad de metano recuperado o utilizado por el proyecto de acuerdo con su densidad, contenido, y el potencial global de calentamiento.

$$ER_{y,calculated} = (1 - OX) \cdot (F_{CH4,PJ,y} - F_{CH4,BL.y}) \cdot GWP_{CH4} - PE_y - LE_Y$$

Ecuación 7.13.

Donde,

$F_{CH4,\ PJ,\ y}$ = A el metano capturado y destruido o usado por el proyecto en el año y. (tCH_4). Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_{CH4,PJ.y} = D_{CH4,y} \cdot W_{CH4,y} \cdot \sum_i LFGi, y$$

Ecuación 7.14.

Donde,

$D_{CH4,\ y}$ = Densidad del metano en la temperatura y presión del gas del relleno sanitario en año y (ton/m^3).

$W_{CH4,\ y}$ = Contenido de metano en el relleno sanitario en el año y (fracción de volumen, m^3_{CH4}/m^3_{LGF}).

$LFG_{i,\ y}$ = Gas destruido por el método i en el año y (m^3_{LGF})

En la tabla 24, se observan los resultados de cada proceso y el resultado final de reducción de emisiones, para consultar la aplicación de las fórmulas, dirigirse al anexo 1.

Al retomar la ecuación 7.1, el valor de $BE_{y,}$ que corresponde a la línea base de emisiones, fueron los valores obtenidos en el paso 1 resumidos en la tabla 23, el valor de la última variable LE_y, como se mencionó anteriormente, su valor es cero. Por último, el valor de PE_y, corresponde a la cantidad de energía que requiere el proceso $\boldsymbol{PE}_{power,\ y}$, más, los resultados de la ecuación 8.8 de las emisiones de gases residuales $\boldsymbol{PE}_{flare,y}$,

De acuerdo con lo anterior, para hallar la variable $\boldsymbol{PE}_{power,y}$, se debe seguir la ecuación 8.12. la cual, se muestra a continuación.

$$PE_{power,y} = PE_{EC,y} = \sum_{j} EC_{PJ,j,y} \cdot EF_{EF,J,Y.} \cdot (1 + TDL_{j,y})$$

Ecuación 7.15.

Donde,

ECPJ, j, y = Cantidad de electricidad consumida por el proyecto en el año y.

EFef, j, y =Combinación marginal del factor de emisión para la generación eléctrica.

TDLj, y = Pérdidas medias de transmisión y distribución del promedio técnico.

Para el cálculo de ECPJ, j, y, relacionada con el consumo de electricidad en KWh que se lleva a valores anuales, para revisar el cálculo remitirse al anexo 1. El factor de emisión es igual al empleado en la ecuación 7.8. como $EF_{grid,y}$ y cuyo valor es 0.367 tCO_2/KWh. Se presentan los valores para cada año de PE_y, se retoman los valores para BE_y y se muestra el resultado de la reducción de emisiones para cada año tal como se muestra en la tabla 24.

Tabla 23:

Reducción de emisiones.

ER	**Año**
37027,5189	2019
18345,0448	2020
43362,4553	2021
46835,913	2022

50488,6931	2023
54119,4741	2024
57731,5039	2025
61327,7462	2026
64910,9021	2027
68668,0092	2028
72582,5998	2029
76619,5722	2030
652019,433	Total

Fuente: Autoras

6.2.3. CER

Como se menciona en el marco teórico con respecto a los Certificados de reducción de emesiones-CER, (en inglés-CRE- certified emisión reducction), son certificados de reducción de emisiones aquellos que representen, en este caso, la reducción de metano en un equivalente de una tonelada de CO_2.

De acuerdo a página web de SENDECO2, miembros de IETA, Organización de Soluciones de Mercado para el Cambio Climático, en lo corrido del año 2018, el promedio del costo de CO2, corresponde a 0.240 €/Kg, los cuales corresponden a 789,574 pesos colombianos, con lo cual, se identifica que en el primer año del proyecto de acuerdo con las políticas del acuerdo de Kioto, donde se especifica que las partes pueden vender hasta mitad de sus reducciones de emisiones, el valor promedio de los CER´s anuales del proyecto será de alrededor de $ 24.692.594.

6.2.4. Cuestiones ambientales

Las cuestiones ambientales del proyecto se presentan bajo una metodología matricial de estudio de impacto ambiental con base a la matriz de importancia tal como se menciona en el marco teórico, con lo cual, se realiza un análisis causa-efecto en dos escenarios distintos, el primero escenario se denomina escenario actual o sin proyecto, que para este caso se consideran los impactos de la operación del relleno sanitario sin MDL, y el segundo escenario es con proyecto, es decir, los impactos que implicaría la implementación del MDL, con esto se realiza una comparación de las ventajas o desventajas de la implementación del proyecto acorde con la realidad del territorio, dichas matrices pueden apreciarse en el Anexo 2.

Dentro de cada escenario se evalúan tres grandes componentes, estos son el medio abiótico, biótico y socioeconómico, que a su vez contienen distintos elementos ambientales, tal como se muestra en la tabla 15. Componentes EIA, lo anterior acorde con la Resolución 1402 de julio de 2018, "por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.

Cabe aclarar que de la revisión de la Metodología General se excluyó el elemento oceánico del presente estudio, esto con motivo de la no concordancia de este con las actividades de proyecto, que se realiza en terreno continental y no opera en cercanías marítimas, sin embargo, se marcan como sinérgicos aquellos impactos hídricos que por su carácter puedan afectar los océanos.

Tabla 24:

Componentes EIA.

Componente Ambiental	**Abiótico**	**Biótico**	**Socioeconómico**
Elementos Ambientales	• Geología. • Paisaje. • Suelos y usos de las tierras. • Hidrológico. • Hidrogeología. • Atmosférico.	• Flora. • Fauna. • Ecosistemas acuáticos.	• Dimensión demográfica. • Dimensión espacial. • Dimensión económica. • Dimensión cultual. • Aspectos arqueológicos. • Salud pública. • Dimensión político-organizativa.

Fuente: Autoras.

En concordancia con lo anterior, de cada elemento ambiental existe uno o varios impactos positivos o negativos que pueden generarse por las actividades del proyecto. A continuación, se presentan las actividades del proyecto valoradas como escenario actual o sin proyecto.

El escenario sin proyecto se analiza de acuerdo con varias etapas, estas etapas son: la etapa preoperativa, la cual incluye el acercamiento a la comunidad, la adquisición de predios la contratación de bienes, y la contratación y capacitación de personal; La etapa de construcción y/o montaje dentro de la cual se desarrollan las actividades de movilización de personal, maquinaria y materiales de construcción, cercamiento del predio, retiro de la cobertura vegetal, adecuación de vías y demás que se presentan en la tabla 26. Etapas y actividades sin proyecto. La siguiente etapa de operación y mantenimiento implica la disposición de los residuos sólidos, el movimiento de tierras, la cobertura de los residuos sólidos, obras de monitoreo, generación de gases y lixiviados, entre otros. Por último, se encuentra la etapa de desmantelamiento y abandono, la cual, corresponden al levantamiento de infraestructura y recuperación de áreas. Adicional a la organización por etapas del proyecto, se incluyen las actividades de uso y aprovechamiento de recursos naturales, esto con motivo de incluir la utilización de recursos como actividad transversal a la ejecución de las actividades del proyecto tal como la Metodología General relaciona.

Tabla 25:

Etapas y actividades sin proyecto.

ETAPA	ACTIVIDADES
PRE-OPERATIVA	• Acercamiento e información a la comunidad. • Negociación de predios y servidumbres. • Contratación de bienes y servicios. • Contratación y capacitación de personal.

DE CONSTRUCCIÓN Y/O MONTAJE	• Movilización de personal. • Cerramiento del predio. • Movilización de Maquinaria y materiales de construcción. • Retiro de cobertura vegetal. • Movimiento de tierras. • Adecuación vías de acceso. • Obras preliminares de monitoreo de aguas subterráneas. • Construcción de edificaciones y campamentos • Construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. • Construcción obras de manejo y conducción de lixiviados. • Construcción de obras de manejo de gases. • Construcción obras de manejo de aguas lluvias.
DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	• Disposición de residuos sólidos. • Retiro de cobertura vegetal. • Movimiento de tierras. • Cobertura de residuos sólidos. • Adecuación de acceso a vías secundarias. • Obras de monitoreo de aguas subterráneas.

	• Edificaciones y campamentos. • Generación de gases. • Generación de lixiviados. • Adecuación forestal y paisajismo. • Labores de mantenimiento.
DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO	• Levantamiento de Infraestructura. • Abandono y recuperación de áreas.
USO Y/O APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	• Captación de aguas superficial. • Vertimientos de aguas residuales domesticas e industriales. • Manejo y disposición de residuos sólidos.

Fuente: Autoras

Para el escenario con proyecto las etapas y actividades se redujeron a etapa de construcción y/o montaje, cuya actividad son las obras de extracción y conducción de gas, la etapa de operación y/o mantenimiento están relacionadas con la reducción de gases, la generación de energía y las labores de mantenimiento y para finalizar, la etapa de desmantelamiento y abandono cuyos actividades son símiles a las del escenario sin proyecto, estas son, el levantamiento de infraestructura y el abandono y recuperación el área. Por lo tanto, la cantidad de actividades con respecto al escenario actual son mucho menores, son seis actividades mientras que el escenario sin proyecto contiene 32 actividades, esto se justifica en que el proyecto se concentra en la reducción de GEI, mientras que el escenario actual afecta varios elementos de manera significativa, como lo son los olores, el paisaje y la calidad del agua.

6.2.4.1. Identificación de Impactos

En continuidad con el EIA, el paso a seguir fue establecer los impactos que causaba cada actividad sobre los elementos ambientales, para ello se implementó una primera matriz de causa-efecto. Presentada en la Figura 10. Vista general de la matriz causa-efecto sin proyecto y Figura 11. Vista general de la matriz causa-efecto con proyecto, la cual, se puede observar a detalle en el Anexo 2. Consideraciones ambientales, En la matriz se relacionan los componentes ambientales, seguido de los elementos ambientales y de los impactos ambientales enlistados de forma vertical, las etapas del proyecto y las actividades asociadas al rellenos sanitarios, se encuentran enlistadas de forma horizontal en la parte superior de la matriz, de esta manera se compara cada una de las actividades con los posibles impactos ambientales y al incidir sobre alguno de los impactos relacionados, se marca con -1 si su efecto es de manera negativa, o con 1 si la actividad afecta de manera positiva. A su vez, aquellos que son impactos negativos se identifican rápidamente por un tono rojo claro, mientras que los impactos positivos son de color verde claro.

Finalizado el paso anterior, se evidencia que actualmente las actividades de relleno sanitario tienen impactos negativos durante todas sus etapas, e impactos positivos en la etapa preoperativa, al igual que en la etapa de operación y en la etapa de desmantelamiento y abandono como puede evidenciarse en la Figura 10. Vista general matriz causa-efecto sin proyecto.

Los impactos del escenario actual son, en su mayoría de carácter negativo, de acuerdo con los resultandos las 32 actividades, producen 309 impactos negativos y 31 impactos positivos. Para el escenario con proyecto, la Figura 11. Vista general matriz

causa-efecto con proyecto. Las actividades con mayor número de impactos negativos son la disposición de residuos sólidos y el vertimiento de aguas residuales domesticas industriales.

Las 6 actividades del MDL producen 17 impactos positivos y 27 impactos negativos. Las actividades del relleno sanitario tienen en promedio 9 impactos negativos por actividad y 0,9 positivos por actividad, mientras que el MDL tiene en promedio 1,5 impactos negativos por actividad y 2,8 impactos positivos en promedio por actividad. La actividad con mayor efecto negativo en el escenario con proyecto, son las obras de extracción y conducción de gas.

Figura 8: Vista general matriz causa-efecto sin proyecto.

COMPONENTE AMBIENTAL		ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL (PERCEPCIÓN DEL CAMBIO)	ETAPA PRE-OPERATIVA				ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y/O MONTAJE												ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO											ETAPA DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO		USO Y/O APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES			IMPACTOS POR ELEMENTO AMBIENTAL	
				Acercamiento e información a la comunidad	Negociación de predios y servidumbres	Contratación de bienes y servicios	Contratación y capacitación de personal	Movilización de personal	Cerramiento del predio	Movilización de Maquinaria y materiales de construcción	Retiro de cobertura vegetal	Movimiento de tierras	Adecuación vías de acceso	Obras preliminares de monitoreo de aguas subterráneas	Construcción de edificaciones y	Construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas	Construcción obras de manejo y conducción de lixiviados	Construcción obras de manejo de gases	Construcción obras de manejo de aguas lluvias	Disposición de residuos sólidos	Retiro de cobertura vegetal	Movimiento de tierras	Cobertura de residuos sólidos	Adecuación de acceso a vías secundarias	Obras de monitoreo de aguas subterráneas	Edificaciones y campamentos	Generación de gases	Generación de lixiviados	Adecuación forestal y paisajismo	Labores de mantenimiento	Levantamiento de Infraestructura	Abandono y recuperación de áreas	Captación de aguas superficial	Vertimientos de aguas residuales domesticas e industriales	Manejo y disposición de residuos sólidos	No IMPACTOS POSITIVOS	No IMPACTOS NEGATIVOS
ABIOTICO	Geología	Geomorfología	Modificación de las geoformas del terreno									-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1		-1	-1				1							1	-12
			Activación de procesos erosivos y morfodinámicos					-1		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1			-1	1					-1	-1	1	-19
		Geotecnia	Cambio en la estabilidad del terreno									-1	-1	-1	-1			-1		-1		-1		-1	-1				1			1				2	-9
	Paisaje	Paisaje	Cambio de la calidad paisajística						-1		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1			1	1	1	1		-1	-1	4	-19
	Suelos y Usos de las Tierras	Características del suelo	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del suelo								-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1		-1	-1	-1		-1	-1			-1			1	1		-1		2	-14
		Uso actual del suelo	Cambio en el uso del suelo		-1						-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1		-1	-1	-1		-1	-1	-1			1	1			-1			2	-15
	Hidrológico	Caudales	Modificación de caudales											-1		-1			-1						-1									-1		0	-5
		Dinámica Fluvial	Cambio en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua lóticos													-1												-1					-1	-1		0	-4
		Usos del Agua	Modificación de los patrones de uso												-1	-1	-1		-1														-1			0	-5
		Calidad del agua	Cambio en la calidad fisicoquímica y Bacteriológica de los cuerpos de agua								-1			-1	-1	-1	-1		-1		-1				-1			-1					-1	-1		0	-11
	Hidrogeología	Calidad de aguas subterráneas	Cambio en la calidad fisicoquímica del agua subterránea											-1						-1					-1			-1								0	-4
		Nivel Freático	Cambios en el nivel freático											-1						-1					-1			-1								0	-4
		Caudales	Modificación de caudales																																	0	0
	Atmosférico	Calidad del Aire	Cambio en la concentración de gases					-1		-1	-1		-1	-1	-1	-1		-1	-1	-1	-1			-1	-1		-1		1		-1	-1		-1	-1	1	-18
		Material particulado	Cambio en la concentración de material particulado					-1		-1	-1	-1	-1		-1	-1		-1	-1	-1	-1	-1		-1			-1			-1	-1	-1		-1	-1	0	-19
		Olores	Generación de olores													-1	-1	-1		-1			1					-1		1				-1	-1	2	-7
		Ruido	Modificación en los niveles de presión sonora					-1		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1			-1		-1	-1		-1	-1				-1	-1	-1	-1		-1	-1	0	-19
BIOTICO	Flora	Cobertura Vegetal	Modificación de la estructura y composición florística								-1	-1	-1							-1	-1	-1		-1					1							1	-7
			Modificación de la cobertura vegetal								-1	-1	-1							-1	-1	-1		-1					1			1				2	-7
	Fauna	Especies	Modificación de la fauna silvestre					-1		-1	-1		-1		-1		-1	-1		-1	-1			-1							1	1	-1	-1	-1	2	-13
		Hábitat	Modificación de hábitats de la fauna terrestre						-1		-1		-1	-1	-1		-1	-1		-1	-1			-1	-1					-1	1	1	-1	-1	-1	2	-15
	Ecosistemas Acuáticos	Comunidades hidrobiológicas y Micrófitos acuáticas	Cambios en la composición de las comunidad peri fítica, fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y Micrófitos acuáticas								-1				-1		-1				-1							-1					-1	-1		0	-7
		Fauna Íctica	Cambios en la comunidad Íctica								-1										-1							-1					-1	-1		0	-5
SOCIOECONOMICO	Dimensión Demográfica	Estructura de la población	Cambio en la dinámica poblacional				-1																													0	-1
	Dimensión Espacial	Servicios Públicos (Acueducto, Alcantarillado, Manejo de Residuos, Energía, Telecomunicaciones y	Cambio en la oferta y demanda de servicios públicos y sociales				-1									-1																				0	-2
			Cambio en el trafico vehicular					-1		-1																							-1	-1	-1	0	-5
			Cambio en la infraestructura vial					-1		-1																							-1	-1	-1	0	-5
	Dimensión Económica	Procesos Productivos y tecnológicos	Cambio en actividades económicas tradicionales		-1	-1																											-1			0	-3
		Mercado Laboral	Cambio en la oferta y demanda de bienes y servicios			1	1																													2	0
			Cambio en la dinámica de empleo			1	1																													2	0
			Cambio en los niveles de ingreso		1	1	1																													3	0
	Dimensión Cultural	Valores y Practicas Culturales	Cambio en los valores y prácticas culturales		-1	-1	-1																													0	-3
	Aspectos Arqueológicos	Evidencias arqueológicas	Modificación del patrimonio arqueológico								-1	-1	-1	-1						-1	-1	-1		-1	-1											0	-9
	Salud Pública	Salud Humana	Enfermedades dermatológicas													-1	-1			-1								-1						-1	-1	0	-6
			Enfermedades gastrointestinales													-1	-1			-1								-1						-1	-1	0	-6
			Enfermedades respiratorias							-1		-1	-1	-1	-1		-1	-1	-1	-1		-1		-1	-1		-1				-1	-1			-1	0	-16
	Dimensión Político Organizativa	Condiciones organizativas y de convivencia de la comunidad	Modificación de las condiciones y formas organizativas			1	1																													2	0
			Generación de expectativas	-1	-1	-1	-1	-1			-1	-1	-1								-1	-1							-1	-1						0	-12
			Cambio en las relaciones sociales de las comunidades		-1	-1	-1																													0	-3
		IMPACTOS POR ACTIVIDAD	IMPACTOS POSITIVOS	0	1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	3	4	6	0	0	0		
			IMPACTOS NEGATIVOS	-1	-5	-4	-5	-8	-2	-8	-16	-13	-16	-15	-15	-14	-14	-12	-10	-19	-16	-13	-1	-15	-15	-2	-3	-11	-2	-4	-4	-4	-11	-18	-13		

Table title: IDENTIFICACIÓN IMPACTOS AMBIENTALES RELLENO SANITARIO MONDOÑEDO (ESCENARIO SIN PROYECTO)

Fuente: Autoras.

Figura 9:

Vista general matriz causa-efecto con proyecto.

COMPONENTE AMBIENTAL		ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL (PERCEPCIÓN DEL CAMBIO)	IDENTIFICACIÓN IMPACTOS AMBIENTALES RELLENO SANITARIO MONDOÑEDO (ESCENARIO CON PROYECTO)							
				ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y/O MONTAJE	ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			ETAPA DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO		IMPACTOS POR ELEMENTO AMBIENTAL	
				Obras de extracción y conducción de gas	Reducción de gases	Generación de energía	Labores de mantenimiento	Levantamiento de la infraestructura	Abandono y recuperación del área	No IMPACTOS POSITIVOS	No IMPACTOS NEGATIVOS
ABIOTICO	Geología	Geomorfología	Modificación de las geoformas del terreno							0	0
			Activación de procesos erosivos y morfodinámicos	-1						0	-1
		Geotecnia	Cambio en la estabilidad del terreno	-1					1	1	-1
	Paisaje	Paisaje	Cambio de la calidad paisajística	-1		-1	1	1	1	3	-2
	Suelos y Usos de las Tierras	Características del suelo	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del suelo	-1				1	1	2	-1
		Uso actual del suelo	Cambio en el uso del suelo				1			1	0
	Hidrológico	Caudales	Modificación de caudales							0	0
		Dinámica Fluvial	Cambio en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua lóticos							0	0
		Usos del Agua	Modificación de los patrones de uso							0	0
		Calidad del agua	Cambio en la calidad fisicoquímica y Bacteriológica de los cuerpos de agua							0	0
	Hidrogeología	Calidad de aguas subterráneas	Cambio en la calidad fisicoquímica del agua subterránea	-1						0	-1
		Nivel Freático	Cambios en el nivel freático							0	0
		Caudales	Modificación de caudales							0	0
	Atmosférico	Calidad del Aire	Cambio en la concentración de gases	-1	1			-1	-1	1	-3
		Material particulado	Cambio en la concentración de material particulado	-1			-1	-1	-1	0	-4
		Olores	Generación de olores	-1	1		1			2	-1
		Ruido	Modificación en los niveles de presión sonora	-1			-1	-1	-1	0	-4
BIOTICO	Flora	Cobertura Vegetal	Modificación de la estructura y composición florística							0	0
			Modificación de la cobertura vegetal						1	1	0
	Fauna	Especies	Modificación de la fauna silvestre	-1				1	1	2	-1
		Hábitat	Modificación de hábitats de la fauna terrestre	-1			-1	1	1	2	-2
	Ecosistemas Acuáticos	Comunidades hidrobiológicas y Micrófitos acuáticas	Cambios en la composición de las comunidad peri fítica, fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y Micrófitos acuáticas							0	0
		Fauna Íctica	Cambios en la comunidad íctica							0	0
SOCIOECONOMICO	Dimensión Demográfica	Estructura de la población	Cambio en la dinámica poblacional							0	0
	Dimensión Espacial	Servicios Públicos (Acueducto, Alcantarillado, Manejo de Residuos, Energía, Telecomunicaciones	Cambio en la oferta y demanda de servicios públicos y sociales							0	0
			Cambio en el trafico vehicular							0	0
			Cambio en la infraestructura vial							0	0
	Dimensión Económica	Procesos Productivos y tecnológicos	Cambio en actividades económicas tradicionales			1				1	0
		Mercado Laboral	Cambio en la oferta y demanda de bienes y servicios			1				1	0
			Cambio en la dinámica de empleo							0	0
			Cambio en los niveles de ingreso							0	0
	Dimensión Cultural	Valores y Practicas Culturales	Cambio en los valores y prácticas culturales							0	0
	Aspectos Arqueológicos	Evidencias arqueológicas	Modificación del patrimonio arqueológico							0	0
	Salud Pública	Salud Humana	Enfermedades dermatológicas							0	0
			Enfermedades gastrointestinales							0	0
			Enfermedades respiratorias	-1				-1	-1	0	-3
	Dimensión Político Organizativa	Condiciones organizativas y de convivencia de la comunidad	Modificación de las condiciones y formas organizativas							0	0
			Generación de expectativas	-1		-1	-1			0	-3
			Cambio en las relaciones sociales de las comunidades							0	0
		IMPACTOS POR ACTIVIDAD	IMPACTOS POSITIVOS	0	2	2	3	4	6		
			IMPACTOS NEGATIVOS	-13	0	-2	-4	-4	-4		

Fuente: Autoras.

6.2.4.2.Cuantificación del Impacto

Con la matriz causa-efecto se identificaron los impactos negativos y positivos, sin embargo, no permite diferenciar la magnitud de daño o beneficio de cada impacto, y asi establecer los impactos que requieren mayor atención. Por lo tanto, para determinar la magnitud del efecto de cada impacto, tanto para impactos de carácter positivo como de carácter negativo, se procede a realizar una cuantificación de cada impacto basado en 12 criterios de valoración del impacto, el resultado final determina si el impacto siendo de carácter negativo es crítico, severo, moderado y/o irreversible, y si el impacto es de carácter positivo es muy importante, importante o no importante. Ver tabla 27. Clasificación de los impactos. Tal como se menciona en el marco teórico en el apartado de Estudio de Impacto Ambiental, la matriz de importancia ordena los impactos de acuerdo con el valor numérico resultante de la Ecuación 16.

Tabla 26:

Clasificación de los impactos.

CARÁCTER NEGATIVO			
IRRELEVANTE	**<-25**	-10	-24
MODERADO	**-25 A <-50**	-25	-49
SEVERO	**-50 A -75**	-50	-75
CRITICO	**>-75**	-76	-100
CARÁCTER POSITIVO			
NO IMPORTANTE	**<25**	13	24
IMPORTANTE	**25 A 50**	25	50
MUY IMPORTANTE	**>50**	51	100

Fuente: Conesa 2010.

*Los *colores fueron modificados.*

Como se mencionó anteriormente, los rangos están determinados por 12 parámetros de valoración cada parámetro posee un rango diferente, tal como se resumen en la tabla 28. Criterios de cuantificación. el primer criterio es el de carácter identificado con el diminutivo (CR) con rango 1 o -1 dependiendo de si el impacto es positivo o negativo, posteriormente, la intensidad (IN), si es baja el valor es 1, media el valor será 4 e intensidad alta el valor será 8, extensión (EX) si es puntual el valor será 1, local o parcial 4, y regional o extremo, el valor será de 8.

Tabla 27:

Criterios de cuantificación.

Criterios	Definición	Calificación	Valor
Carácter (CR)	Modificación del elemento en términos de sus características iníciales.	**Positivo** si genera cambios favorables sobre el elemento ambiental afectado	1
		Negativo si los cambios son perjudiciales.	-1
Intensidad (IN)	Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en que actúa. Expresa el grado de destrucción del factor considerado en el caso que se produzca un efecto negativo, independientemente de la extensión afectada. Puede producirse una intensidad muy alta pero en una extensión pequeña. La valoración según la intensidad del impacto.	**Intensidad Alta**	8
		Intensidad Media	4
		Intensidad Baja	1
Extensión (EX)	Se refiere al área del entorno socioambiental que en teoría se vería afectada por el efecto generado sobre una variable específica	**Puntual**: efectos generados en el área directamente intervenida por el proyecto.	1
		Local o Parcial: efectos que trascienden las áreas directamente intervenidas por el proyecto, sin llegar a abarcar la totalidad del área de estudio	4
		Regional o Extremo cuando el efecto social, físico o biótico abarca el área de estudio en la totalidad de su extensión y/ó puede llegar a trascenderlo, hasta llegar al orden municipal.	8
Duración (DR)	Se refiere al tiempo que supuestamente permanecerá el efecto desde su aparición y a	**Fugaz:** si el efecto persiste por menos de un (1) año	1
		Temporal: si el efecto persiste por 1 a 10 años.	4

	partir del cual comienza su proceso de recuperación, con o sin medidas de manejo.	**Pertinaz:** si el efecto persiste de 11 a 15 años.	8
		Permanente: si el efecto persiste por un tiempo indefinido o mayor a 15 años.	12
Reversibilidad (RV)	Capacidad del medio socio-ambiental para asimilar naturalmente un efecto generado por una o varias actividades del proyecto, de forma que activa mecanismos de autodepuración, sin la implementación de medidas de manejo, una vez desaparece la acción causante de la Modificación. El impacto será reversible cuando el factor ambiental alterado puede retornar sin la intervención humana a sus condiciones naturales en un periodo inferior a 10 años.	**Reversible a Corto Plazo:** la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir en menos de dos (2) años.	1
		Reversible a Mediano Plazo: la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir entre dos (2) años y seis (6) años.	4
		Reversible a Largo Plazo: la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir entre seis (6) años y quince (15) años.	8
		Irreversible: la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, no es posible.	12
Recuperación (RC)	Posibilidad que la Modificación generada sobre una de las variables socio-ambientales por una acción dada, se pueda eliminar por la ejecución de medidas de manejo ambiental.	**Recuperable de forma inmediata**	1
		Recuperable a Corto Plazo: el efecto se puede eliminar en un tiempo menor a un (1) año.	2
		Recuperable a Mediano Plazo: el efecto se puede eliminar en un tiempo entre un (1) año y tres (3) años.	3
		Recuperable a Largo Plazo: el efecto se puede eliminar en un tiempo entre cuatro (4) años y diez (10) años.	4
		Irrecuperable: el efecto no se puede eliminar ni mitigar con medidas de manejo socio-ambiental.	8
Periodicidad (PE)	Se refiere a la aparición o permanencia de un efecto a lo largo de un periodo de tiempo.	**Irregular:** el efecto se manifiesta esporádicamente y de forma imprevisible a lo largo de la duración del proyecto.	1

		Periódico: el efecto se manifiesta de forma regular pero intermitente a lo largo de la duración del proyecto.	2
		Discontinuo: el efecto se manifiesta de forma irregular a lo largo de la duración del proyecto.	4
		Continuo: el efecto se manifiesta constante o permanentemente a lo largo de la duración del proyecto.	8
Acumulación (AC)	Los impactos acumulativos son aquellos impactos que tienen el mismo origen y se restringen en un espacio geográfico de uno o varios proyectos, obras o actividades generando efectos en una región determinada.	**Simple:** Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencias en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación, ni en la de su sinergia, nos encontramos ante un caso de acumulación simple	1
		Acumulativo: Cuando una acción al prolongarse en el tiempo, incrementa progresivamente la magnitud del efecto, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante.	2
Efecto (EF)	Se refiere a la relación causa - efecto o la manifestación del efecto sobre una variable socio-ambiental como consecuencia de una actividad.	**Directo:** se da cuando el efecto que se está evaluando es consecuencia de la actividad o acción que se está desarrollando.	2
		Indirecto: se da cuando el efecto que se genera sobre una variable socio-ambiental es consecuencia de la interacción con otra variable, a su vez afectada por la actividad que se está ejecutando.	1
Probabilidad de Ocurrencia (PO)	Probabilidad que un efecto se presente o no. Para establecer dicha posibilidad de ocurrencia de forma objetiva es necesario tener los registros de los efectos presentados por las diferentes	**Alta:** si el efecto siempre se presenta. Ejemplo: pérdida de cobertura vegetal y de la capa orgánica del suelo en la construcción de una locación.	8
		Media: si el efecto se presenta por la interrelación con otro IMPACTO AMBIENTAL que es afectado. Ejemplo: traslado de vehículos que ocasionalmente emitan partículas al aire.	4

	actividades en un proyecto, proceso o subproceso.	**Baja:** si el efecto se podría presentar. Ejemplo: el cambio en el hábitat acuático en las actividades de remoción de cobertura.	1
Momento (MO)	Es el plazo de manifiesto del impacto el cual se atribuye al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.	**Manifestación inmediata:** Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea nulo.	4
		Manifestación a corto plazo: Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea inferior a un año.	3
		Manifestación a medio plazo: Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea entre 1 y 10 años.	2
		Manifestación a largo plazo: Cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sea mayor a 10 años.	1
Sinergia (SI)	Los Impactos sinérgicos son impactos de distintos orígenes que interactúan y cuya incidencia final es mayor a la suma de los impactos parciales de las modificaciones causadas por cada una de las acciones que lo genera. Los impactos pueden tener origen en un único proyecto o estar distribuidos en varios proyectos situados en una región próxima.	**Sin sinergia:** Cuando el potencial de multiplicación de los efectos es bajo	1
		Moderadamente sinérgico: Cuando el potencial de multiplicación de los efectos es moderado	2
		Sinérgico: Cuando el potencial de multiplicación de los efectos es alto	4

Fuente: Conesa, 2010.

La duración (DR) puede ser temporal cuyo valor será 4, pertinaz 8 o permanente 12, con lo cual a mayor efecto del impacto en el tiempo mayor será su valor en la escala de duración. Reversibilidad (RV) hace referencia a la capacidad del medio de volver a condiciones naturales sin intervención humana, con lo cual, su es reversible a corto plazo se califica con 1, a mediano plazo con 4, a largo plazo con 8 y si es irreversible 12.

Con respecto a la recuperación (RC), si el elemento ambiental con medidas de manejo se recupera de forma inmediata el valor es 1, a corto plazo 2, a mediano 3, a largo plazo 4 y si es irrecuperable 8. La periocidad (PE) es el efecto durante el proyecto que puede darse de forma irregular cuyo valor es 1, periódico 2, discontinuo 4 y continuo 8. La acumulación (AC) puede ser simple si no es acumulativa cuyo calificativo es 1 y si es acumulativo es 2.

Si el efecto (EF) sobre el elemento es directo su valor es 2, si no lo es será indirecto y su ponderación de 1. Probabilidad de ocurrencia (PO) puede ser alta cuyo valor es 8, media de valor 4 o baja de valor 1. El momento (MO) hace referencia al momento en que ocurre el impacto de acuerdo con la realización de la actividad, si la manifestación es inmediata el valor es 4, si la manifestación es de corto plazo el valor es 3 y si la manifestación del impacto es a largo plazo el valor es 1.

Para finalizar, la sinergia (SI) hace referencia a la relación de impactos que al interactuar aumentan el efecto potencial, si el impacto es sinérgico el valor es 4, si es moderadamente sinergia el valor es 2 y si no es sinérgico el valor es 1.

Los anteriores criterios se operan conforme a la ecuación 7.16, tal como la metodología de Importancia lo sugiere.

$$IMP = CR * (3 * INT) + (2 * EX) + MO + DR + RV + RC + SI + AC + EF + PE + PO$$

Ecuación 7.16.

6.2.4.3.Importancia de los impactos

Conforme a la ecuación anterior, el valor de la intensidad del impacto se multiplica por 3, luego por el carácter que puede ser 1 o -1, sumado a la extensión multiplicada por 2, y finalmente la suma del valor de los demás criterios. Este valor positivo o negativo se ubica en uno de los rangos de la tabla 29. Clasificación de impacto, de acuerdo con este proceso de cuantificación, los resultados para el escenario con proyecto evidencian que las 32 actividades actuales generan n total 340 impactos, de los cuales 24 son de importancia negativa critica, 107 de importancia negativa severa y once de importancia positiva muy importante.

Tabla 28:

Importancia impactos escenario sin proyecto.

NIVEL DE IMPORTANCIA		NUMERO DE IMPACTOS	PORCENTAJE %
IMPORTANCIA NEGATIVA	IRRELEVANTE	26	8%
	MODERADO	157	46%
	SEVERO	107	31%
	CRITICO	24	7%
IMPORTANCIA POSITIVA	NO IMPORTANTE	1	0%
	IMPORTANTE	14	4%
	MUY IMPORTANTE	11	3%
TOTAL		340	100%

Fuente: Autoras

Los impactos se concentran en la importancia negativa moderada con 157 impactos que equivalen al 46% de los 340 impactos totales, en segundo lugar, se

encuentran los impactos negativos severos los cuales representan el 31% de los impactos totales con 107 impactos, en tercer lugar, los impactos negativos irrelevantes con8% en el total de impactos que equivale a 26 impactos, después, se encuentran los impactos negativos críticos con 24 impactos y el 7% de participación en el total de impactos.

De acuerdo con lo anterior, la mayoría de los impactos son negativos, los impactos de importancia positiva se concentran en importancia positiva importante con 14 impactos que equivalen al 4% del total de impactos, seguido de los impactos positivos muy importantes cuyo porcentaje es del 3% del total, en último lugar, se encuentra los impactos de importancia positiva no importantes, con un solo impacto que equivale al 0% del total.

En el caso del escenario con proyecto, como se resume en la tabla 30. Importancia impactos escenario con proyecto, los impactos muestran una distribución distinta con respecto al nivel de importancia.

Tabla 29:

Importancia impactos escenario con proyecto.

NIVEL DE IMPORTANCIA		NUMERO DE IMPACTOS	PORCENTAJE %
IMPORTANCIA NEGATIVA	IRRELEVANTE	2	5%
	MODERADO	24	55%
	SEVERO	3	7%
	CRITICO	0	0%
IMPORTANCIA POSITIVA	NO IMPORTANTE	1	2%
	IMPORTANTE	10	23%
	MUY IMPORTANTE	4	9%
TOTAL		44	100%

Fuente: Autoras

Los impactos más representativos son los impactos de importancia negativa moderados con un 55% el cual equivale a 24 de 44 impactos totales, en segundo lugar,

se encuentran, los impactos de importancia positiva importantes, los cuales equivalen al 23% con 10 impactos, en tercer lugar, los impactos de importancia positiva muy importantes con 4 impactos que equivalen al 9%, seguido de los impactos negativos severos, los cuales son 3 y equivalen al 7%,

Posteriormente, se encuentran los impactos de importancia negativa irrelevantes con 5% de representación que equivalen al 2%, seguido por los impactos positivos no importantes que es 1 impacto, pero a diferencia del escenario sin proyecto, equivale al 2%. Para finalizar, en último lugar, se encuentra el nivel de importancia negativa critica con 0% de participación y 0 impactos.

En el caso puntual de las emisiones de gases, en el necesario actual, se muestra que la actividad de generación de gases es un impacto que cambia las concentraciones de gases en el componente atmosférico, con una importancia de -82, en una escala de -1 a -100, es un impacto crítico, además de ser un impacto sinérgico que puede causar efectos en otros elementos ambientales de forma indirecta, sin embargo, en el escenario con proyecto, este impacto se convierte en un impacto de nivel de importancia positiva muy importante con un valor de 79, en una escala de 1 a 100, además de mejorar los olores y otros elementos suma una nueva actividad de generación de energía cuyos impactos negativos son más moderados y genera un cambio positivo en la generación de servicios del relleno sanitario.

6.3.Capítulo 3. Análisis costo/beneficio de la estructuración del mecanismo de desarrollo limpio.

El cálculo del flujo de caja del inversionista tal como se menciona anteriormente, refleja la viabilidad económica del proyecto, dicho cálculo y sus variables se presentan en el Anexo 1. Se establece que la duración del proyecto será de 12 años, teniendo en cuenta que se el proyecto se establece por 7 años inicialmente y se

realiza una posterior renovación. Para la obtención de los datos básicos se usó la proyección de la inflación indicada por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público en el Marco Fiscal de Mediano Plazo 2018, cuyo valor de es correspondiente al 3%. A su vez, se establece el impuesto de renta es del 33%, de acuerdo con la Ley 1819 de 2016.

En cuanto al valor de la inversión en la tecnología se recolectan los datos del relleno sanitario Doña Juana en los cuales se establece que el valor de la inversión será de 5266084 dólares, lo cual, se compara y se ajusta al de Nuevo Mondoñedo con base en la diferencia de Toneladas entre los mismos para posteriormente multiplicar por 2.956,43 (el valor promedio del dólar a pesos para el año 2018), se realiza el mismo cálculo para determinar la inversión en el desarrollo del MDL.(Ver PDD Doña Juana) Siendo $249.100.939,52 y $17.047.768,74 respectivamente. Finalmente, se establece que la depreciación de los activos será a 30 años, y el valor de salvamento del 60%.

En cuanto a las ventas de CER, se obtienen a partir de los datos de Toneladas de CO2 equivalente reducidas durante cada año del proyecto, ésto se realiza a través de proyecciones realizadas por Mondoñedo, teniendo en cuenta que la venta se realiza por el 50% de las emisiones,y que, según SendeCO2 el precio de venta por Tonelada/año es de 0,024 euros lo cual corresponde a 879,57 pesos colombianos (Teniendo en cuenta el valor promedio del cambio de euro a peso colombiano del año 2018 el cual fue $3.664,89), lo cual se multiplica por la toneladas reducidas a partir de las proyecciones realizadas para cada uno de los años para finalmente multiplicarlo por el valor de inflación. Obteniendo como resultado $16.284.214.

En cuanto a las ventas de energía, se obtienen a partir de los siguientes datos,

Tabla 30:

Sistema de generación de energía

Potencia turbina	0,913
Capacidad	21,69
Días de funcionamiento	365
Horas/día de funcionamiento	24

Fuente: Autoras

Multiplicados da un total de 173.474 KWh/año, para lo cual se tiene en cuenta el precio de energía de tensión 3, es decir, que el sistema de tensión es mayor o igual a 30 kV y menor a 57.5 kV, para el año 2018 fue de 370 $/KWh aproximadamente, al multipli obteniendo como resultado de venta de energía $64.185.385,10 para el primer año, para los años siguientes al valor se multiplica por la inflación.

Se aclara que para la financiación del proyecto se tiene en cuenta que se hará uso del 50% de recursos propios y el restante se obtendrá un préstamo con una entidad bancaria, en éste caso con el Banco de Bogotá con una tasa de interés del 10% y el periodo de pago será a los 12 años de duración del proyecto. El flujo de caja del inversionista presenta los siguientes indicadores:

Tabla 31:

Indicadores de sensibilidad

INDICADOR	**VALOR**
VPN	$16.097.058,06
TIR	14%
RCB	1,120962887
VPB	$149.171.412,19
VPC	133.074.354
TIO	12%

Fuente: Autoras

El valor del VPN indica que el proyecto es viable, en cuanto al resultado de la TIR se establece que el proyecto es rentable teniendo en cuenta que la TIR es mayor que la TIO, en cuanto a la relación Costo/beneficio se establece que al ser mayor a 1 los beneficios son mayores que los costos, es decir el proyecto tiene viabilidad y rentabilidad financiera.

6.4. Capítulo 4. Propuesta Metodológica para la Implementación de Mecanismos de Desarrollo Limpio en un Relleno Sanitario Tipo I en Colombia.

Como resultado del proyecto de investigación titulado Propuesta Metodológica para a la Implementación de un Mecanismo de Desarrollo Limpio en un Relleno Sanitario tipo I en Colombia, mediante el cual, se realiza el análisis de casos de éxito, internacionales y nacionales de MDL en rellenos sanitarios, además, del análisis de las cuestiones técnicas y ambientales de su implementación y un estudio de caso a modo de ejemplo, se elaboró una propuesta para facilitar la implementación de MDL's, véase Anexo 3. Propuesta Metodológica, en la cual se presentan los conceptos básicos, el cumplimiento de cuestiones legales para iniciar el proceso, además de los elementos de validación de un MDL para rellenos sanitarios que dispongan más de 791 toneladas a día de residuos sólidos.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- De acuerdo con las experiencias nacionales e internacionales se evidencia que muchos de los proyectos de MDL son creados para la generación de energía eléctrica y demuestra ser una buena alternativa para la reducción de gases de efecto invernadero la cual promueve además de un beneficio ambiental un beneficio económico.
- En cuanto a las condiciones técnicas y ambientales se demuestra que la reducción y aprovechamiento de emisiones es posible en rellenos sanitarios, además, de adicionar impactos positivos a las actividades del proyecto.
- El análisis costo/beneficio de la estructuración del mecanismo de desarrollo limpio demuestra la viabilidad y rentabilidad del proyecto teniendo en cuenta los indicadores de sensibilidad, además teniendo en cuenta que los beneficios son mayores a los costos, por lo cual la venta de CER y de energía es una alternativa viable financieramente para este tipo de proyectos que promueven la reducción de emisiones y el aprovechamiento de gases de efecto invernadero.
- En cuanto a la propuesta metodológica es necesario tener en cuenta, que deben estructurarse más propuestas para aterrizar mas los conceptos de desarrollo sostenible a actividades y escenarios realizables.

Recomendaciones

Se recomienda que esta clase de proyectos tengan incentivos, es decir beneficios monetarios para promover el aprovechamiento de gases para diferentes usos ya sea dpara la generación de energía eléctrica, gas o uso vehicular, además, teniendo en cuenta que durante nuestra investigación identificamos que en el país hay alrededor de veinte proyectos de MDL en rellenos sanitarios, es necesario demostrar casos de éxito para incentivar a las empresas a invertir, por lo cual es necesaria su socialización o un sistema o unidad de información que comunique efectivamente los avances en el tema de reducción de gases que el país está aportando.

Bibliografía

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (EPA). (s.f.). *Basic Information about Landfill Gas.* Recuperado el Septiembre de 28 de 2017, de https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (EPA). (s.f.). Guía de las mejores prácticas en el marco internacional para proyectos de generación de energía a partir de biogás producido por rellenos sanitarios. Recuperado el Septiembre de 28 de 2017, de https://www.epa.gov/

Alcaldia Mayor de Bojacá. (s.f.). Municipio de Bojacá- Cundinamarca. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de http://www.bojaca-cundinamarca.gov.co/

AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIETNALES-ANLA. (2 de Abril de 2018). "Por la cual se certifica que son acreditables algunos de los elementos objeto de la solicitud de exclusión del impuesto sobre las ventas - IVA presentada por NUEVO MONDOÑEDO S.A. E.S.P. y se toman otras determinaciones". *Resolución No. 00449 de abril 2 de 2018*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_0449_02042018_ct_0618.pdf

Benavides, J. (s.f.). *Flujos de Caja y Evaluación de Proyectos.* Recuperado el Septiembre de 29 de 2017, de . Universidad Icesi: https://www.icesi.edu.co/departamentos/finanzas_contabilidad/images/Flujos_de_Caja_y_Evaluaci%C3%B3n_de_Proyectos_2013-05A.pdf. 2013.

Camargo, Y., & Vélez, A. (24 de Septiembre de 2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. *II Simposio Iberoamericano de Ingenieria de Residuos*. Barranquilla, Colombia. Recuperado el Septiembre de 26 de 2017, de Grupo de

Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. Instituto de Investigaciones Tropicales INTROPIC: http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf

CODENSA. (Abril de 2018). Tarifas de energía eléctrica ($/kWh) regulada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Recuperado el 30 de Enero de 2019, de https://www.codensa.com.co/document/Tarifario-abril-2018.pdf

Colmenares, W., & Santos, K. (2007). Generación y manejo de gases en rellenos sanitarios. Recuperado el 2017 de Septiembre de 28, de http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/relleno-sanitario.pdf

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. (09 de Julio de 2015). "Por la cual se establece el régimen de regualción tarifaría al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptoresen áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para. Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado el 29 de Septiembre de 2017, de http://cra.gov.co/apc-aa-files/306539653463613863666330626430 33/3.-resolucion-cra-720-de-2015-firmada_1.pdf

COMISION DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. (16 de Noviembre de 2012). Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás. *Resolución 135 de 2012*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 13 de Agosto de 2018, de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51162

Conesa, V. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación de impacto ambiental*. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Conesa+Fern%C3%A1ndez+%E2%80%93+Vitora,+Gu%C3%ADa+Metodol%C3%B3gica+para+la+Evaluaci%C3%B3n+de+impacto+ambiental,+2010.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi7u-vqp5bgAhVDiqwKHVb1CIgQ6AEIKTAA#v=one

DATOS ABIERTOS GOBIERNO DIGITAL COLOMBIA. (05 de Marzo de 2018). *Portafolio colombiano de proyectos y programas del Mecanismo de dessarrollo limpio*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de DATOS ABIERTOS GOBIERNO DIGITAL COLOMBIA: https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Portafolio-colombiano-de-proyectos-y-programas-del/b5ez-7ihb

Deublein, D., & Steinhauser, A. (2018). Biogas from waste and renewable resource . Weinhein; Wiley. Obtenido de http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/82464/1/tg01758.pdf

EL CONGRESO DE COLOMBIA. (11 de Julio de 1994). por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. *Ley 142 del 11 de julio de 1994*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

El Congreso de Colombia. (27 de Diciembre de 2000). Por medio del cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. *Ley 629 de diciembre 27 de 2000*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21971

EL ESPECTADOR. (2015). Tratar las basuras, lucha contrarreloj. Recuperado el Septiembre de 28 de 2017, de https://www.elespectador.com/noticias/bogota/tratar-basuras-lucha-contrarreloj-articulo-567135

EL ESPECTADOR. (3 de Noviembre de 2016). En 20 años Colombia aumentó en un 15% sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/20-anos-colombia-aumento-un-15-sus-emisiones-de-gases-d-articulo-663749

EL TIEMPO. (2015). Rellenos sanitarios de más de 300 municipios del país ya no dan abasto. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16464584

Espinoza, L. (2014). BENEFICIOS DEL BIOGÁS CAPTURADO EN UN RELLENO SANITARIO, TRANSFORMADO A ENERGIA ELECTRICA EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO - MDL. Huancayo, Perú. Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3724/Espinoza%20Condori.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO. (2011). Manual de Biogás. (P. C. Renovables", Ed.) Santiago de Chile, Chile. Obtenido de http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf

Flores, R., Muñoz, F. B., & Cano, K. (2008). ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA PARA PROYECTOS DEL PROGRAMA DE DESARROLLO LIMPIO. *REVISTA MEXICANA DE INGENIERIA, 7*(1). Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v7n1/v7n1a5.pdf

Gobernación de Cundinamarca. (2018). *Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo será habilitado para vender bonos de carbono.* Colombia. Recuperado el 2 de Octubre de 2017, de http://www.cundinamarca.gov.co/Home/Prensa.gc/!ut/p/z0/fY3BbsIwEER_xReOsKaUlmsEUiAV4hp8qZZ467gNu8Z2035-Hakc2z3NW43egIEWDOPoHWYvjEPhs3l6XW02uj7pZaPrZqer-mX_fFrVWm8foQFTCvqPq_RkeIjH7dGBCZj7uec3gfYrJGiDxDxt7OVK0B7Yd14WfQHX_Xr_GS5e_367mQpMJ5zpOxdhJE4405gcDhQ9

González, J. (Diciembre de 2014). Recuperado el 03 de Octubre de 2018, de Alternativas de captación y tratamiento de biógas en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina: https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1635/Alternativas%20de%20captaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20del%20biogas%20en%20el%20vertedero%20de%20Piedras%20Blancas.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://www.globalmethane.org/documents/events_land_111411_7.pd

Google Earth. (2018). Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de Aplicación de Escritrio Google Earth

GREENPEACE. (s.f.). Cambio climático. Recuperado el 2017 de Septiembre de 28, de https://www.greenpeace.org/archive-colombia/es/campanas/cambio-climatico/

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (Marzo de 2012). What a waste? A global review of solid waste management. *(15)*. Washington, Estado Unidos: Work Bank. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388

ICONTEC. (s.f.). *Evaluación de Poryectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de ICONTEC: http://www.icontec.org/Ser/EvCon/Paginas/CC/vv.aspx

Jaramillo, J. (2002). *GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES.* Lima , Perú. Recuperado el 29 de Septiembre de 2018, de https://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/Imagenes/Archivos/Guia_para_disenio_const_y_Op_de_Rellenos_Sanitarios.pdf

López, Á. (2016). *Repositorio Universidad de Chile.* Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de MODELO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENT DE BIOGÁS PRODUCIDO EN RELLENOS SANITARIOS: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138545/Modelo-para-el-diseno-de-sistemas-de-captacion-y-aprovechamiento-de-biogas-producido.pdf?sequence=1

Methane to Markets; SCS ENGINEERS. (Julio de 2010). Nuevo Mondoñedo Landfill Bojaca, Colombia. *ASSESSMENT REPORT*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de https://www.globalmethane.org/data/217_Assessment.Report.Nuevo.Mondo%C3%B1edo.Final.7-13-10.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (25 de Julio de 2018). "Por la cual se adopta la etodología General para la Elaboración y Presetnación de Estudios Ambientales y se toman tras determinaciones". *Resolución No. 1402 del 25 de julio de 2018*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de http://www.andi.com.co/Uploads/RES%201402%20DE%202018.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT. (23 de Mazo de 2005). DECRETO 838 DE 2005, por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. *Decreto 838 de 2005 NIvel Nacional*, 3. Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado el 29 de Septiembre de 2017, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16123

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2017). *MARCO FISCAL DE MEDIANO PLAZO 2017.* Bogotá D.C. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/ShowProperty?nodeId=/OCS/P_MHCP_WCC-073995//idcPrimaryFile&revision=latestreleased

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS. (s.f.). *Mecanismo de Desarrollo Limpio*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de MINAMBIENTE: http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/466-plantilla-cambio-climatico-22#mdl

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO- MVCT. (02 de Noviembre de 2017). DECRETO 1784 DE 2017 Nivel Nacional. Recuperado el 28 de

Agosto de 2018, de RÉGIMEN LEGAL DE BOGOTÁ D.C: http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=72625

MINISTERIO FEDERAL DE COOPERACIÓN ECONÓMICA Y DESARROLLO. (s.f.). El mecanismo de Desarrollo Limpio: ¿Qué es? ¿Cómo funciona? *Programa de Protección del Clima para Países en Desarrollo*. Recuperado el 1 de Octubre de 2017, de http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/03_VF_Bibliografia/Baseline/cdm_espanol_kl.pdf

Montaño, O., Corona, J., & Montelongo, M. (Mayo de 2009). Metodología sistémica para el desarrollo de un proyecto de biogás. Hidalgo, México.

Organización Panamericana de la Salud (OPS); Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). . Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington D.C., Estado Unidos . Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf

PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMATICO (IPCCC). (1996). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html

Presidente de la República de Colombia. (8 de Mayo de 2013). Por el cual se reglamenta el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 en relación con el incentivo a los municipios donde se ubiquen rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales para residuos sólidos. *Decreto 920 de mayo 08 de 2013*. Bogotá D.C.,

Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=53045

Presidente de la República de Colombia. (20 de Diciembre de 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. *Decreto 2981 de diciembre 20 de 2013*. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjurMantenimiento/normas/Norma1.jsp?i=56035#120

Presidente de la República de Colombia. (28 de Agosto de 2015). Por el cual se modifica el artículo 2.3.2.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015. *Decreto 1736 de agosto 28 de 2015*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1564_2012.html

Presidente de la República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Decreto 1076 de mayo 26 de 2015*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511

Presidente de la República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. *Decreto 1077 de mayo 26 de 2015*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62512

Presidente de la República de Colombia. (11 de Abril de 2016). Por el cual se modifica y adiciona el Decreto número 1077 de 2015 en lo relacionado con el esquema de

aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposicione. *Decreto 596 de Abril 11 de 2016*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=65909

SAPAG, N., SAPAG, R., & SAPAG, J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (Sexta Edicion ed.). México D.F., México: mcgraw-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

SENDECO2. (2019). Precios CO2 – 2019. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de ttps://www.sendeco2.com/es/precios-co2

SUI. (s.f.). Sistema Unico de Información de Servicion Públicos Domiciliarios. *Reportes* . Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de http://www.sui.gov.co/web/aseo/reportes

SUPERINDENCIA FINANCIERA DE COLOMBIA. (s.f.). Establecimientos de crédito - Tasas efectivas anuales con corte al 2019-01-18. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de https://www.superfinanciera.gov.co/Superfinanciera-Tasas/generic/activeInterestRates.seam

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS. (Diciembre de 2017). Disposición Final de Residuos Sólidos Informe Nacional - 2016. *Edición No. 9*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el Agosto de 28 de 2018, de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informenacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS. (Octubre de 2017). Disposición Final de Residuos Sólidos- Informe Nacional 2015. *Edición No. 8*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 11 de Octubre de 2017, de https://www.superservicios.gov.co/publicaciones/acueducto-alcantarillado-y-aseo/disposicion-final-residuos-solidos-informe-nacional-0

Toro, J. (Mayo de 2009). Análisis constructivo del proceso de evaluación de impacto ambiental en Colombia. Porpuesta de mejora. (E. d. Granada, Ed.) Granada, España. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/46591015_Analisis_constructivo_del_proceso_de_evaluacion_de_impacto_ambiental_en_Colombia_Propuestas_de_mejora

UNFCCC. (16 de Julio de 2009). Approved baseline and monitoring methodology AM0083. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/R8O6P4ANGE24L9067H08TYVPOM5Q7P

UNFCCC. (11 de Julio de 2011). Approved baseline and monitoring methodology AM0093. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/2GD08SZKUBS916SP75HRQT3DZ90H5D

UNFCCC. (28 de nOVIEMBRE de 2014). AMS-I.D.: Grid connected renewable electricity generation --- Version 18.0. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/W3TINZ7KKWCK7L8WTXFQQOFQQH4SBK

UNFCCC. (28 de Noviembre de 2014). AMS-III.G.Landfill methane recovery Version 9.0. Recuperado el 22 de Marzo de 2018, de https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/QPVDNPHDG8302KQ5EPGD3OC57KVA3Q

UNFCCC. (4 de Mayo de 2017). ACM0001: Flaring or use of landfill gas Version 18.1. Recuperado el 20 de Marzo de 2018, de https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/Y88077XT5O83TZ2PYEZ36LFIAMAODR

UNFCCC. (15 de Septiembre de 2017). Nuevo Mondoñedo Landfill Gas Recovery, Flaring and Energy Production ant Transformation for Leachate Evaporation. Recuperado el Septiembre de 28 de 2018, de https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/ICONTEC1462894251.71/view

UNFCCC. (10 de Mayo de 2017). Project: 2554 Dona Juana landfill gas-to-energy project - Crediting Period Renewal Request. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018, de https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1241446939.84/view

UNFCCC. (s.f.). *Los mecanismo de Kyoto*. Obtenido de United Nations Framework Convention on Climate Change: http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/organizacion/mecanismos/items/6219.php

UNFCCC. (s.f.). Recommendations for the revision of definition of Small Scale Project Activities. *Annex 2*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2018, de https://cdm.unfccc.int/Panels/ssc_wg/SSCWG7_repan2_Defn_SSC_Project_Activities.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Proyecto de Generación de Energía por Aprovechamiento energético de los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Sólidos Especiales por el sistema de Termólisis. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de http://www.upme.gov.co:81/SGIC/?q=content/proyecto-de-generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-por-aprovechamiento-energ%C3%A9tico-de-los-residuos-s%C3%B3lidos

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. (24 de Diciembre de 2015). Por la cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). *Resolución 857 de 2015*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_upme_0857_2015.htm