



**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN EMPRESARIAL AMBIENTAL
PARA LA RECUPERACIÓN DEL BIOGÁS EN LA FASE DE CIERRE DEL
RELLENO SANITARIO EL CARRASCO, BUCARAMANGA-SANTANDER,
COLOMBIA.**

Elissa Marcela Verjel Quintero

Asesor:

Sergio Alejandro Carrión Avellaneda

**Maestría en Gestión Empresarial Ambiental
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Facultad de Ingeniería
Universidad El Bosque
Bogotá D.C
2020-II**

Dedicatoria

Dios,

Porque es la fuente y la inspiración para mis días.

Padres,

Porque son mi apoyo y el motor que me impulsa cada día a superarme como persona.

A todas las personas que han estado de alguna manera acompañándome en la construcción y fortalecimiento de esta oportunidad profesional.

Resumen ejecutivo

El trabajo de investigación tiene como objetivo principal el modelo de gestión empresarial ambiental para el proceso de recuperación del biogás, generado en el municipio de Bucaramanga-Santander, para la fase de cierre del relleno sanitario El Carrasco. Por tal motivo, se inició con el diagnóstico ambiental del estado actual del relleno, mediante la recopilación de información primaria suministrada por la Empresa de Aseo de Bucaramanga (EMAB) y secundaria; determinando las variables que permitieron calcular la generación y recuperación de biogás, mediante el modelo de la EPA US denominado “modelo colombiano de biogás” y así mismo se realizó el estudio técnico de los proceso de aprovechamiento del biogás a energía para así gerenciar proyectos de energía eléctrica.

Palabras clave: Biogás, relleno sanitario, efecto invernadero, aprovechamiento.

Abstract

The main objective of the research work is the environmental business management model for the biogas recovery process, generated in the municipality of Bucaramanga-Santander, for the closure phase of the El Carrasco landfill. For this reason, it began with the environmental diagnosis of the current state of the filling, through the collection of primary information provided by the Bucaramanga Toilet Company (EMAB) and secondary; determining the variables that allowed to calculate the generation and recovery of biogas, using the EPA US model called "Colombian biogas model" and also carried out the technical study of the process of harnessing biogas to energy in order to manage electric energy projects.

Keywords: Biogas, landfill, greenhouse effect, development.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	14
2. Justificación	16
3. Antecedentes	17
3.1 Generación y recuperación del biogás en rellenos sanitarios	17
3.2 Influencia de los rellenos sanitarios en el cambio climático	19
3.3 Generación de energía a través de plantas de biogás.....	21
4. Planteamiento del problema de gestión empresarial ambiental	25
4.1 Situación insatisfactoria actual	31
4.2 Situación ideal	32
4.3 Formulación del problema.....	34
5. Objetivos	35
5.1 Objetivo general	35
5.2 Objetivos específicos.....	35
6. Marco referencial	35
6.1 Marco contextual	35
6.1.1 Contexto geográfico	35
6.1.2 Contexto demográfico	38
6.1.3 Información general sobre el relleno sanitario El Carrasco	40
6.1.4 Stakeholders o partes interesadas	42
6.2 Glosario	47
6.3 Marco teórico.....	49
6.3.1 Rendimientos teóricos de Biogás a partir de los residuos sólidos dispuestos	49
6.3.2 Modelo colombiano de biogás para rellenos sanitarios.....	52
6.3.3 El sistema de gestión estratégico.....	54

6.3.4	Elaboración del diagnóstico para la producción sustentable.....	56
6.3.4.1	Análisis del entorno	57
6.3.4.1.1	Matriz PEST o PESTEL	58
6.3.4.1.2	Análisis de las cinco fuerzas de Porter.....	61
6.3.4.2	Análisis de insumos.	63
6.3.4.3	Análisis de las materias primas.....	64
6.3.4.4	Análisis de tecnologías disponibles.	65
6.3.4.5	Análisis de la razón de ser de la empresa.	65
6.3.4.6	Análisis de la estructura organizacional.	67
6.3.4.7	Análisis del mapa psicosocial y cultural de la organización.	67
6.3.4.8	Análisis de la gerencia.....	67
6.3.4.9	Análisis del producto o servicio.	67
6.3.4.11	Análisis de la entropía.....	69
6.3.4.12	Enfoque PHVA	70
6.3.5	Elaboración del Plan Estratégico.....	71
6.3.6	Matriz de impacto ambiental.....	73
6.4	Marco legal	76
7.	Metodología.....	82
7.1	Tabla metodológica	84
8.	Sistema de gestión empresarial de la organización productiva	87
8.1	Análisis del entorno micro.....	87
8.1.1	Poder de negociación de los clientes.....	87
8.1.2	Poder de negociación de los proveedores.....	87
8.1.3	Amenaza de nuevos entrantes o competidores.....	88
8.1.4	Ingreso potencial de nuevos productos o servicios sustitutos.	88

8.1.5	Rivalidad entre los competidores existentes	89
8.2	Análisis del entorno macro	89
8.3	Análisis de insumos y materias primas.....	96
8.4	Análisis de tecnologías disponibles.....	97
8.4.1	Generación de electricidad y co-generación	98
8.4.2	Selección de la tecnología	100
8.4.3	Diagrama de proceso.....	100
8.5	La gota de agua.....	107
8.6	Enfoque PHVA.....	110
8.7	Mercado bonos de carbono.....	¡Error! Marcador no definido.
8.8	Análisis de mercado.....	113
8.8.1	Análisis del sector y tendencias	113
8.8.2	Estado del arte.....	114
8.8.3	Análisis de la demanda y oferta	115
8.8.3.1	Demanda.....	115
8.8.3.2	Oferta.....	116
8.8.3.3	Cuatro Ps of Marketing.....	117
9.	Sistema de gestión ambiental de la organización productiva.....	119
9.1	Diagnóstico ambiental del relleno sanitario El Carrasco.....	119
9.1.1	Disposición de residuos en el predio El Carrasco	119
9.1.2	Composición química.....	123
9.1.3	Composición física.....	124
9.1.4	Producción y composición de los residuos	129
9.1.4.1	Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB): Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta	130

9.1.4.2	Betulia.....	131
9.1.4.3	Rionegro	132
9.1.4.4	Lebrija.....	132
9.1.4.5	Suratá.....	133
9.1.4.6	Charta.....	133
9.1.4.7	California.....	134
9.1.4.8	Matanza	134
9.1.4.9	El Playón.....	135
9.1.4.10	Tona	135
9.1.4.11	Los Santos.....	136
9.1.4.12	Santa Bárbara.....	136
9.1.4.13	Zapatoca.....	136
9.1.5	Planta de Tratamiento de Lixiviados.....	136
9.1.5.1	Manejo de lixiviados	138
9.1.6	Manejo de gases	141
9.1.7	Componente Geológico.....	144
9.1.8	Meteorología de la zona	145
9.1.8.1	Temperatura ambiente	147
9.1.8.2	Precipitación	148
9.1.8.3	Vientos.....	149
9.1.9	Hidrografía subterránea y superficial.....	152
9.1.10	Presencia de aves: Zopilote negro	153
9.1.11	Situación socioeconómica	154
9.2	Resultados obtenidos del modelo colombiano de biogás	158
9.2.1	Fase 1: Regiones geográficas de Colombia.....	158

9.2.2	Alimentación.....	160
9.2.3	Disposición y recuperación de biogás.....	163
9.2.4	Caracterización de los residuos.....	165
9.2.5	Tabla de resultados.....	169
9.2.6	Gráfica de resultados.....	172
9.3	Plan de Gestión Ambiental.....	174
9.3.1	Análisis del Ciclo de Vida.....	174
9.3.2	Evaluación de impacto ambiental y social.....	176
9.3.3	Requisitos legales ambientales.....	180
9.3.4	Política de Gestión Ambiental.....	185
9.3.5	Paradigma en el que se enmarcará la Gestión Ambiental de la Organización.....	185
9.3.6	Programas, subprogramas y proyectos.....	186
10.	Propuestas de optimización con enfoque ambiental del sistema de gestión empresarial	190
10.1	Definición de la estructura organizacional.....	190
10.2	Misión.....	191
10.3	Visión.....	191
10.4	Valores.....	192
10.5	Objetivos estratégicos.....	193
10.6	Plan Estratégico Empresarial.....	194
10.6.1	Análisis de la ventaja competitiva.....	198
10.7	Plan Operativo.....	201
11.	Indicadores del proyecto.....	207
12.	Evaluación financiera de las propuestas de optimización.....	209
12.1	Costos de Inversión.....	209

12.2	Ingresos del proyecto	212
12.3	Estado de resultados.....	214
12.4	Costo de Capital Promedio Ponderado	215
12.5	Tasa Interna de Retorno y Valor Presente Neto.....	216
12.6	Perfil del VPN.....	217
13.	Análisis de resultados.....	218
13.1	Análisis del diagnóstico ambiental del relleno sanitario El Carrasco.	218
13.2	Análisis de gestión empresarial de la organización productiva.	222
13.3	Análisis de la tecnología seleccionada para aprovechar el biogás en energía.	223
13.4	Análisis de la ventaja competitiva	224
13.5	Análisis del Plan de Gestión Ambiental	225
13.6	Análisis plan estratégico empresarial.....	225
13.7	Análisis financiero	226
14.	Conclusiones	227
15.	Bibliografía	228

Contenido De Tablas

Tabla 1.	Ventajas y desventajas de las tecnologías estudiadas.	22
Tabla 2.	Características de los principales proyectos de captura y aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios en Colombia.	24
Tabla 3.	Matriz de Problema	30
Tabla 4.	Relación de Partes Interesadas vinculadas directa o indirectamente con el relleno sanitario El Carrasco en Bucaramanga, Santander.	42
Tabla 5.	Rango de valores.	52
Tabla 6.	Marco legal relacionado con el desarrollo del proyecto.....	76
Tabla 7.	Tabla metodológica del proceso de investigación.....	85

Tabla 8. Análisis PESTEL del proyecto en mención.	90
Tabla 9. Composición estimada de residuos que ingresan al relleno El Carrasco para el año 2017.	97
Tabla 10. Características sistemas de cogeneración.....	99
Tabla 11. Descripción de las etapas del diagrama de bloques del proceso.	102
Tabla 12. Diagnóstico por medio del Esquema La Gota de Agua.	107
Tabla 13. Modelo PHVA de la organización.	112
Tabla 14. Proyección de producción.	118
Tabla 15. Producción de Bucaramanga.....	120
Tabla 16. Relación de disposición de residuos en el predio El Carrasco.....	121
Tabla 17. Composición química de los residuos sólidos.....	124
Tabla 18. Composición física de los residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco para el año 2016.....	125
Tabla 19. Composición física de los residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco para el año 2017.....	127
Tabla 20. Producción de residuos y Producción Per Cápita de los municipios atendidos por la EMAB.	129
Tabla 21. Caracterización de los residuos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.	130
Tabla 22. Caracterización física de los residuos en el municipio de Betulia.	131
Tabla 23. Caracterización de residuos del municipio de Lebrija, Santander.	132
Tabla 24. Características de los residuos en el municipio de Suratá, Santander.....	133
Tabla 25. Tipo y peso de los residuos en el municipio de Charta, Santander.....	133
Tabla 26. Caracterización de los residuos sólidos en la fuente en el municipio de California, Santander.....	134
Tabla 27. Composición de residuos cabecera municipal municipio de Tona, Santander.	135
Tabla 28. Resultados del monitoreo del mes de enero de 2019 en la PTLX con los parámetros exigidos por la norma ambiental vigente. RESOLUCIÓN 0631 DE 2015.....	139
Tabla 29. Consolidados caudales.	143
Tabla 30. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo.....	146
Tabla 31. Escalas de precipitación.	148
Tabla 32. Clasificación de vientos según velocidad (Beaufort).	149

Tabla 33. Población de los municipios en el área de influencia del relleno sanitario El Carrasco y su respectiva tasa de crecimiento anual.....	155
Tabla 34. Alimentación del modelo colombiano de biogás.	160
Tabla 35. Resultados de la eficiencia de captura de biogás.	164
Tabla 36. Caracterización de residuos en el relleno sanitario El Carrasco y en el Departamento de Santander.....	165
Tabla 37. Resultados obtenidos de la caracterización de los residuos.	166
Tabla 38. Tabla de resultados.....	170
Tabla 39. Parámetros del modelo.....	171
Tabla 40. Análisis del ciclo de vida de la organización.	175
Tabla 41. Matriz de evaluación de impactos ambientales año 2020 del R.S El Carrasco.....	177
Tabla 42. Matriz de requisitos legales ambientales aplicables a los procesos y actividades de la organización productiva.	180
Tabla 43. Plan de Acción de Gestión Ambiental para organización productiva E&F ENERGY SAS.....	187
Tabla 44. Objetivos estratégicos de la organización.	194
Tabla 45. Acciones propuestas para corregir las debilidades.....	195
Tabla 46. Acciones propuestas para afrontar las amenazas detectadas.....	196
Tabla 47. Acciones a desarrollar para mantener las fortalezas detectadas.....	197
Tabla 48. Acciones a desarrollar para explotar las oportunidades identificadas.....	197
Tabla 49. Análisis de la ventaja competitiva.....	198
Tabla 50. Plan operativo de la organización.	202
Tabla 51. Indicadores del proyecto.	207
Tabla 52. Costos de inversión para la implementación de la propuesta de optimización.	209
Tabla 53. Detalle Gastos Operacionales.....	211
Tabla 54. Fuente de financiación.	211
Tabla 55. Ingresos venta energía.....	213
Tabla 56. Flujo de caja del proyecto.	214
Tabla 57. VPN, TIR del proyecto en mención.	216
Tabla 58. Perfil VPN.....	217

Contenido de Figuras

Figura 1. Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario.	27
Figura 2. Árbol de problemas sobre el biogás.	32
Figura 3. Economía circular de la organización.	34
Figura 4. Mapa Político Administrativo Departamento de Santander.	37
Figura 5. Censo en el departamento de Santander.	39
Figura 6. Departamento de Santander y los municipios de influencia en el Carrasco.	40
Figura 7. Ubicación geográfica de los municipios que disponen sus residuos en el relleno sanitario El Carrasco.	41
Figura 8. Localización geográfica del sitio de disposición final El Carrasco.	41
Figura 9. Fases del Sistema de Gestión Estratégico propuesto por Norton y Kaplan.	56
Figura 10. Síntesis del proceso de diagnóstico de una empresa para la producción sustentable.	57
Figura 11. Matriz PESTEL.	59
Figura 12. Esquema de las cinco fuerzas competitivas de Michel Eugene Porter.	62
Figura 13. Sistema de organización y subsistemas.	66
Figura 14. Análisis del producto o servicio.	68
Figura 15. Sistema de gestión ambiental de la organización productiva.	71
Figura 16. Matriz DOFA.	72
Figura 17. Análisis CAME.	73
Figura 18. Matriz Leopold. Interacción entre los factores ambientales y las acciones.	75
Figura 19. Tratamientos y usos del biogás.	98
Figura 20. Esquema de las etapas de producción de biogás.	101
Figura 21. Diagrama de flujos de procesos.	106
Figura 22. Esquema La Gota de Agua.	107
Figura 23. Ciclo PHVA para SGA.	111
Figura 24. Público objetivo de la organización.	116
Figura 25. Celdas de disposición final de residuos “El Carrasco”.	122
Figura 26. Distribución de los residuos según sus propiedades o posibilidades de tratamiento y disposición final.	127

Figura 27. Composición estimada de residuos que ingresan al relleno El Carrasco para el año 2017.	128
Figura 28. Esquema Planta de Tratamiento de Lixiviados PTLX.....	137
Figura 29. Caudal promedio afluente a la PTLX para el periodo de febrero de 2019.	140
Figura 30. Chimenea de gas en la celda 1.....	141
Figura 31. Caudales registrados en los ductos.	144
Figura 32. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de olores ofensivos.	146
Figura 33. Temperatura vs. Precipitación.	147
Figura 34. Rosa de vientos.	151
Figura 35. Rosa de vientos en el sitio de disposición final El Carrasco.	152
Figura 36. Distancia Aeropuerto Internacional Palonegro al relleno sanitario El Carrasco.	154
Figura 37. División Político Urbana del municipio de Bucaramanga.	157
Figura 38. Mapa de Regiones Geográficas de Colombia.....	159
Figura 39. Localización de los ductos y las celdas instalados en 2018.....	163
Figura 40. Gráfica de resultados	173
Figura 41. Resumen gráfico de las cantidades de los impactos analizados.	179
Figura 42. Mejora continua de la organización productiva, con base en la norma ISO 50001 para Colombia.	186
Figura 43. Programas de Gestión Ambiental para la organización E&F ENERGY SAS.	187
Figura 44. Estructura organizacional	190
Figura 45. Valores de la organización empresarial E&F ENERGY S.A.S.....	193
Figura 46. Esquema del Plan Operativo.....	201
Figura 47. Cálculos del precio de energía eléctrica en Colombia.....	213
Figura 48. Perfil VPN	217
Figura 49. Alternativas de aprovechamiento del biogás.	223

1. Introducción

El trabajo comprende el estudio acerca de la estimación de generación de biogás en un relleno sanitario, puesto que los residuos sólidos urbanos depositados en estos sitios no cuentan con un manejo apropiado y pueden producir problemas de contaminación de aire, agua y suelo, con el consecuente riesgo de la salud pública. Además, la contribución al efecto invernadero del metano, uno de los gases presentes en el biogás que se genera en los rellenos, el cual es 21 veces más potente respecto al dióxido de carbono (CO_2), (Aguilar, Taboada, & Ojeda, Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás, 2011).

Por consiguiente, se ahondaron conceptos como generación y recuperación del gas metano en rellenos sanitarios y el cambio climático, puesto que el biogás recibe este nombre dado al proceso de descomposición anaerobia de los residuos confinados en el sitio de disposición final, siendo contribuyente directo a la generación y emisión de gases de efecto invernadero que se encuentra ligado con el cambio climático, además de estas problemáticas, también se producen problemas ambientales y sociales.

Uno de los beneficios que actualmente se observan en los rellenos sanitarios es la adecuada captación y aprovechamiento del biogás para ser aprovechado como energía o gas, esto con el fin de dar mitigación al problema ambiental y social producido por la actividad del relleno sanitario a las zonas de influencia.

Así, de esta manera, la metodología desarrollada se basa en un enfoque mixto, puesto que se caracteriza por ser cuantitativo en la utilización del modelo colombiano de biogás y cualitativo por la recolección y análisis de la información que pretende contribuir para guiar proyectos de esta índole. Para estimar el aprovechamiento final del biogás en la fase de cierre del relleno sanitario El Carrasco, se tuvo en cuenta un diagnóstico ambiental para evidenciar el estado actual del mismo y el uso de variables que permitieron el cálculo del biogás y así se describieron las tecnologías pertinentes para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos.

Para el análisis empresarial, se tuvo en cuenta las cinco fuerzas de Michael E. Porter, análisis de las fuerzas Políticas, Económicas, Sociales, Tecnológicas, Ecológicas y Legales (PESTEL), las cuales fueron usadas para entender el entorno macro y micro en el que se enmarca el negocio y así poder consolidar el plan estratégico mediante una matriz de las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA), plan operativo y plan financiero.

Además, se plantea la propuesta de optimización de la organización, en la cual se presenta la misión, visión, valores organizacionales que ayudan a perfilar los objetivos estratégicos, y así tener una clara idea del negocio que se está desarrollando.

Para el cumplimiento de los objetivos, fue necesario contar con información suministrada por la Empresa de Aseo de Bucaramanga (EMAB), en la cual se dieron a conocer los informes en cuanto a disposición de los residuos sólidos, composición química y física de los residuos, producción de residuos y producción Per Cápita de los municipios atendidos por la EMAB, entre otros informes; esta información permitió realizar el diagnóstico ambiental general y actualizado del relleno sanitario El Carrasco.

Con base en lo anterior, cabe preguntarse ¿De qué manera el diseño del modelo de gestión empresarial ambiental para el aprovechamiento del biogás contribuye a mitigar impactos socioambientales producidos en el relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga-Santander?

En el trabajo se encuentra planteada una estrategia de manejo ambiental y empresarial para el aprovechamiento de biogás a nivel interno del relleno sanitario que redundará en beneficios ecológicos, sociales y económicos, los cuales se pueden identificar a través del análisis de los resultados obtenidos por cada objetivo específico planteado.

2. Justificación

El trabajo de investigación tiene como propósito estimar la generación y recuperación del biogás del relleno sanitario El Carrasco, con el fin de diseñar un modelo de gestión empresarial ambiental para la fase de cierre y darle un adecuado aprovechamiento final; así mismo, definir el estudio técnico de procesos de aprovechamiento de biogás a energía eléctrica; igualmente identificar los problemas socioambientales que tiene la propagación del gas metano en el territorio, debido a que se hace necesaria la reducción eficaz de las emisiones de metano a corto plazo, para evitar aumentar su concentración en el ambiente, de forma que se convierta en un problema mayor por su alta contribución al efecto invernadero.

Cabe resaltar, que el problema actual por el que atraviesa el relleno sanitario es generado por múltiples causas, una de ellas es el venteo de gases en consecuencia del mal diseño de las chimeneas generando contaminación atmosférica. Otro problema de gran magnitud es la generación y vertimiento de lixiviados a fuentes hídricas causando contaminación a este recurso, siendo de gran importancia tanto ambiental como social, adicional a esto, se evidencia falta de implementación de tecnologías y poca área de control para el relleno, lo cual crea efectos negativos como conflictos sociales por el terreno, proliferación de vectores y olores, enfermedades a la comunidad, y liberación de sustancias altamente tóxicas generando problemas como el cambio climático.

Algunos autores han estudiado la influencia de diferentes factores ambientales, tales como el viento y la presión atmosférica en emisiones de biogás provenientes de rellenos sanitarios y su dispersión en la atmósfera, reportando en algunos casos alta variabilidad espacial en las emisiones debido a las diferencias en la capacidad de producción de biogás y la influencia de factores como la composición de los residuos, el tipo de material de cobertura y la edad del residuo depositado en el relleno (Camargo & Vélez, 2009). Se han registrado evidencias de concentraciones elevadas de metano y otros tipos de contaminantes en zonas habitadas ubicadas a menos de 3 km de rellenos sanitarios, con un gradiente de concentración desde la fuente emisora objeto de estudio, como el origen de estos gases (Gómez & Filigrana, 2008).

La estimación del biogás emitido desde sitios de disposición final de residuos sólidos es uno de los objetivos previstos en el Protocolo de Kioto, de hecho; resulta fundamental evaluar la contribución de los rellenos sanitarios, botaderos y plantas de compostaje a lo largo del tiempo por la producción de biogás, así como establecer medidas que puedan adaptarse para la reducción de los gases emitidos (Aronica, Bonanno, Piazza, Pignato, & Trapani, 2009).

3. Antecedentes

En este apartado se hizo una revisión bibliográfica en donde a través del tiempo se han realizado trabajos previos sobre la generación del biogás y su respectiva recuperación y la influencia que tiene los rellenos sanitarios en el cambio climático.

3.1 Generación y recuperación del biogás en rellenos sanitarios

El documento titulado “Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina”, expone las opciones inherentes a la captación y el tratamiento de biogás en el Predio de Enterramiento Sanitario Piedras Blancas; para ello se plantearon diferentes alternativas geométricas para la red de captación de gases, se analizaron las mismas y se seleccionó una configuración matricial. La red seleccionada fue modelada mediante el Software EPANET, para verificar el comportamiento hidráulico de captación de gases propuesta, (González J. , 2014).

Dentro de las alternativas de tratamiento para el biogás, se suscita la recuperación o no de energía, enmarcando la diferencia entre las alternativas, ya que en ambas el gas generado dentro del relleno sanitario se quema, pero en la alternativa de generación se está utilizando el calor generado en esa quema para producir energía eléctrica.

Aduce la investigación, no se recomienda realizar este tipo de proyectos en carácter “temporal”, sino realizar estos trabajos con una visión a largo plazo y con las consideraciones técnicas que un proyecto de esta magnitud necesita; por otro lado, se recomienda optar por la alternativa de quema

directa ya que la inversión inicial es baja con respecto a la otra y el costo de operación es nulo, toda vez que es un sistema más simple con menor tecnología, (González J. , 2014).

El artículo titulado “Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios”, tuvo como objetivo estudiar modelos de cálculo de producción de biogás proveniente de rellenos sanitarios, con énfasis en la captura y aprovechamiento energético, tanto en forma de calor como electricidad, (López D. , 2016).

La metodología empleada para este trabajo, se resume en la recopilación de antecedentes sobre rellenos sanitarios, un estudio modelo de predicción de biogás, caracterización de rellenos sanitarios chilenos y por último la selección de tecnologías a estudiar aplicando el respectivo modelo de estudio de ingeniería, tomando como caso el relleno sanitario Osorno y El Molle en Chile.

En lo referido a las tecnologías de aprovechamiento energético, se identificaron tres categorías: generación eléctrica o cogeneración, uso directo del biogás de medio grado de energía y comercialización de biogás de alto grado de energía asimilable a gas natural.

Como conclusión de este trabajo, se menciona que se empleó el modelo LandGEM, para representar mejor el fenómeno de generación de biogás, se complementa dicho modelo con la metodología del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el método estequiométrico y una metodología de evaluación difusa, que en conjunto permitieron determinar los valores de las constantes cinéticas y la composición del biogás, (López D. , 2016).

El estudio planteado en el artículo “Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia”, tuvo como objetivo estimar el potencial de generación de biogás proveniente de diferentes rellenos sanitarios y exponer las condiciones para implementar el modelo, comparándolo con resultados experimentales, para el caso del relleno sanitario La Glorita de la ciudad de Pereira.

Se concluye que los modelos ampliamente utilizados son el modelo colombiano de biogás y el IPCC. El primero está aprobado por la US-EPA, ya que para su desarrollo permite tener en cuenta

diferentes regiones del país, en las cuales varían los pisos térmicos y los niveles de pluviosidad, (Andrade, Restrepo, & Tibaquirá, 2018).

3.2 Influencia de los rellenos sanitarios en el cambio climático

De acuerdo con (Díaz, Buenrostro, Mañón, & Hernández, 2017) en su trabajo “Emisión de gases de efecto invernadero en dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México” se plantea la necesidad de determinar la generación del metano como Gas de Efecto Invernadero (GEI) en un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto. Para ello, se evaluaron las condiciones de operación, se caracterizaron los residuos sólidos urbanos confinados en temporadas de lluvias y estiaje y se determinó la generación de metano puntual y difuso.

El método utilizado se adapta a una descripción de los sitios de estudio, luego se realizó una caracterización de los residuos sólidos urbanos en el cual se seleccionaron aleatoriamente cinco puntos en cada una de ellas, con el fin de cubrir el total del área y por último se realizaron los respectivos muestreos y la cuantificación de metano (CH_4); para el relleno sanitario se muestrearon 24 pozos de venteo de biogás y las superficies de las Celdas 1, 2 y 3, y para el botadero a cielo abierto se analizó el único pozo activo, ya que los otros fueron destruidos, (Díaz, Buenrostro, Mañón, & Hernández, 2017).

Como conclusión, se determinó que el monitoreo del biogás permitió tener mayor certeza de la contribución de GEI de los sitios de disposición estudiados, lo cual es relevante para mejorar su operación, contemplar su aprovechamiento y reducir su impacto al ambiente, (Díaz, Buenrostro, Mañón, & Hernández, 2017).

El artículo titulado “Evaluación de la generación de biogás en rellenos sanitarios en Colombia en el marco del protocolo de Kioto” se estimó la generación de biogás en el relleno sanitario “La Glorita” de la ciudad de Pereira y el comportamiento histórico frente al desarrollo de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), (Ordoñez, 2011).

El desarrollo de la investigación se basó en un estudio de tipo exploratorio, basado en fuentes primarias y secundarias para la recolección de información, aportando al estudio la secuencia metodológica piloto aplicable a Colombia, además del análisis de criterios técnicos aplicables para el logro de una primera aproximación a la estimación de la generación de biogás de rellenos sanitarios.

De esta investigación se muestra que, este gas es un problema que genera consecuencias graves ambientalmente a largo plazo, pues el biogás producto de los residuos urbanos contiene dos de los principales gases de efecto invernadero en una concentración importante, como son el metano y el dióxido de carbono. Como se menciona en el documento, estos gases son causantes del efecto invernadero debido a que al ser liberados al ambiente se almacenan en la atmósfera, aumentando su concentración en la capa de ozono y por sus propiedades, han ido aumentando la temperatura interna del planeta causando un gran número de desastres como sequías e inundaciones, (Ordoñez, 2011).

El estudio realizado por Carlos Borda titulado “Biogás: una alternativa energética para los rellenos sanitarios urbanos y un beneficio mitigador de cambio climático” se hace importante realizar un análisis sobre si este tipo de proyectos contribuye efectivamente a la disminución de gases de efecto invernadero y así poder tener una visión más clara sobre este tipo de metodologías.

Para la realización de este trabajo se hizo necesario realizar un análisis investigativo sobre el gas proveniente de los rellenos sanitarios urbanos y su tratamiento sin dejar a un lado las observaciones y estudios realizados en el relleno sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá D. C.

Finalmente, la utilización de las metodologías utilizadas, trae beneficios como la reducción de rellenos clandestinos, lo cual disminuye el impacto ambiental que estos generan; la oferta de fuentes de empleo debido a la posible instalación de plantas de energía significando así una reducción de GEI a la atmósfera, (Borda, 2016).

3.3 Generación de energía a través de plantas de biogás

En el documento titulado “Generación de energía a través de biogás en Colombia” menciona que la demanda de energía en Colombia, presenta una gran ventaja, puesto que implementar proyectos de biogás además de generar beneficios económicos en los sectores de consumo, genera externalidades ambientales, sociales y de salud.

Además, hace énfasis en que, el biogás una vez producido, puede ser utilizado como combustible para la generación de electricidad o cogeneración, utilizando tecnologías como motores de combustión interna (MCI), turbinas de gas y como insumo para la alimentación de pilas de combustible. Así como, el biogás puede ser inyectado en la red de gas natural para uso doméstico e industrial (Herrera, 2013).

Como conclusiones del estudio, se determinó que el potencial bruto nacional de biogás de las actividades analizadas es del orden de los 6.580 MNm³ (Mega Newton-metro cúbico) de biogás a 60% CH₄/año.

Este potencial representa un total de 135.105 Tjoules de potencia térmica, equivalentes a unos 12.384.625 MWh/año de energía eléctrica, al supuesto de conversión térmica a eléctrica del 33% usado en el análisis. Finalmente, el valor total de mercado de la electricidad equivalente a dicho potencial bruto es de 222.923 MUSD/año (Herrera, 2013).

Por otro lado, el estudio realizado por (Souza & Schaeffer, 2013), titulado “Sistema de compresión de biogás y biometano” tuvo como objetivo dimensionar y modelar una estación para compresión de biogás, analizar los procesos involucrados en la producción y evaluar un modelo de sistema que utiliza el propio combustible como fuente de energía.

Cabe aclarar que, el biogás pertenece al grupo de combustibles de fuentes renovables, dado que puede ser producido a partir de residuos. Además la filtración del biogás, reducción de gases no combustibles, transforma el mismo en biometano, el cual puede ser utilizado en motores de combustión interna, turbinas, etc. (Souza & Schaeffer, 2013).

Para el aumento de la eficiencia energética de la planta es importante que se utilice parte de este combustible como fuente de energía en el proceso. Para ello, deben ser utilizados motores a biogás o biometano que puedan ser instalados en sistemas de baja presión y acoplados a los equipos. De esta forma se utiliza una pequeña parte del combustible, lo que confiere al sistema un enorme diferencial (Souza & Schaeffer, 2013).

La publicación realizada por el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) titulado “Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico” desarrolló una metodología para evaluar la factibilidad técnico-económica para la generación de electricidad a partir de biogás recuperado en vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU).

Dentro de la metodología, se menciona que la mayoría de proyectos en operación utilizan motores de combustión interna (reciprocantes), turbinas y Microturbinas y se analiza lo siguiente:

Tabla 1. *Ventajas y desventajas de las tecnologías estudiadas.*

Tecnología	Características
<p align="center">Motores reciprocantes de combustión interna</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia - Bajo costo por kW - Eficiencia de los motores varía entre 25 y 35% - Altos costos de mantenimiento - Si los costos de electricidad del mercado son bajos, la rentabilidad de estos equipos resulta marginal - Para proyectos típicos de 50% de metano en el biogás de rellenos sanitarios es entre 8 y 30 m³/min de biogás <ul style="list-style-type: none"> - Capacidades entre 800 kW y 3MW.
	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de gran escala donde existe un flujo de biogás como para generar 3 MW y más de 5MW (flujos de biogás superiores a 40 m³/min)

<p>Turbinas de gas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El costo de kW disminuye con el aumento del tamaño de las turbinas <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia entre 20 y 28% - Desventaja en cuanto a la eliminación de los siloxanos y otras impurezas del biogás.
<p>Microturbinas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de biogás menor a 8 m³/min con contenidos mínimos de metano de hasta 35% <ul style="list-style-type: none"> - Alto costo por kW - Requieren un tratamiento primario del biogás que incluya remoción de siloxanos, humedad y material particulado - Costo de capital reducido y bajo costo de mantenimiento y de las instalaciones.

Fuente: Autor, 2020, basado en (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017).

En cuanto al aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios de América Latina, en Argentina, en el Relleno Sanitario Olavarría, se desarrolló un estudio de recuperación y aprovechamiento del biogás, incluyendo el MDL. En este relleno se determinó que un 71% de los residuos son materia orgánica, lo cual permitió conseguir una tasa promedio de captura de biogás de 282 m³/h durante 21 años, además de reducir aproximadamente 17.302 ton de CO₂e, (Flechas, 2006).

En México, se desarrolló un proyecto para la captura y aprovechamiento del biogás proveniente del Relleno Sanitario “Salinas Victoria”, en el cual se depositaron 7.7 millones de toneladas de residuos en la celda 4, Se estimó que la producción de biogás podría generar aproximadamente 700 GWh de energía, la cual sería destinada a las necesidades de consumo de la red de alumbrado público y bombeo de agua potable y residual de la ciudad de Monterrey, mediante la figura de empresa cogeneradora. Finalmente se determinó una capacidad total de 7 MW efectivamente instalada, mediante la utilización de motores de combustión interna, (Flechas, 2006).

Consecuentemente, se muestra a continuación el aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios a nivel nacional dentro del MDL.

Tabla 2. Características de los principales proyectos de captura y aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios en Colombia.

Relleno Sanitario	Proyecto	Disposición de residuos	Capacidad (aprox)	Potencial de generación	Generación de biogás (aprox)
La Esmeralda- Manizales, Caldas	Captura y Aprovechamiento de Biogás para combustión en horno incinerador y generación de electricidad para iluminación	146.000 ton/año	2'844.444 ton	12'094.394 m ³ /año (91.027 tCO ₂ e /año)	989 m ³ /h, incrementándose a 1,279 m ³ /h para el 2016.
El Carrasco- Bucaramanga, Santander	Aprovechamiento de Biogás para generación de calor para uso interno del relleno	124.000 ton/año	4'200.000 ton	7'764.985 m ³ /año (58.442 tCO ₂ e/año)	2085 m ³ /h, incrementándose a 2,336 m ³ /h para el 2007.
Guayabal- Cúcuta, Norte de Santander	Aprovechamiento de Biogás para Generación de calor y electricidad	200.750 ton/año	6.200.000 ton	13'403.882 m ³ /año (100.883 tCO ₂ e/año)	–
El Combeima- Ibague, Tolima	Captura y Aprovechamiento de Biogás para generación eléctrica	90, 520 ton/año	1'131.000 ton (hasta el 2004)	4'813.915 m ³ /año (36.231 tCO ₂ e/año)	348 m ³ /h para el 2005, incrementándose a 432 m ³ /h para el 2006

Fuente: (Flechas, 2006).

4. Planteamiento del problema de gestión empresarial ambiental

El área metropolitana de Bucaramanga (Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón) y otros 13 municipios: Betulia, Rionegro, Lebrija, Suratá, Charta, California, Matanza, El Playón, Tona, Los Santos, Vetas, Zapatoca y la vereda Ruitoque, disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco.

La zona urbana de Bucaramanga tiene un historial de manejo de residuos sólidos muy similar al entorno mundial y nacional, como es el caso del relleno sanitario Doña Juana ubicado en la ciudad de Bogotá y el relleno sanitario Bordo Poniente en la ciudad de México; donde a través del tiempo se fueron implementando estrategias de manejo, que debido a la falta de continuidad en los proyectos no fueron viables y al contrario aumentaron la problemática. La ausencia de procedimientos que generen capacidad institucional y municipal para construir soluciones sostenibles, que den respuesta al manejo de los residuos sólidos en todos los componentes del servicio, considerando su impacto sobre la salud y el medio ambiente; lo social y lo económico, lo político y lo cultural, han hecho de esta problemática en la actualidad no solo en Bucaramanga, sino a nivel nacional un sistema complejo y de difícil solución, (Alcaldía de Bucaramanga, 2016).

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), para el año 2014 en el municipio de Bucaramanga, se registró una producción de 16.286 toneladas por mes y para el año 2015, 15.958 toneladas por mes; esto a su vez se ve reflejado con la cantidad de residuos sólidos generados por un habitante al día, expresado como Producción Per Cápita (PPC), la cual fue calculada a partir del periodo de Enero de 2014 a diciembre del mismo año, siendo 0,97 (Kg/habitante-día), ubicándose en un nivel de complejidad alto según lo establecido en el título F del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en el año 2003; demostrando con esto que el municipio debe implementar medidas para el aprovechamiento y reducción de los residuos sólidos, (Ministerio de Vivienda, 2003). Así mismo, de acuerdo a las proyecciones realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), los

habitantes para el año 2020 corresponde a 607.428 (DANE, 2018), el cual permite proyectar el cálculo de la PPC para dicho año arrojando 1 Kg/habitante-día.

Tal como es mencionado por (Corena, 2008), los residuos sólidos que son dispuestos en los rellenos sanitarios inician un proceso de descomposición química, produciendo así complejos a partir de los líquidos de lixiviados y gases. Los líquidos se forman por el percolado a través de sustancias en procesos de descomposición, del mismo modo, el flujo del líquido genera una disolución de algunas sustancias y partículas con otros compuestos químicos, por ende, algunos ácidos orgánicos formados en dicha etapa disuelven metales contenidos en residuos, que finalmente son transportados con el lixiviado.

En la siguiente figura, se presenta la composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario; el cual cuenta con 5 fases:

-Fase I: Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono, agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C.

-Fase II: Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y la reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono.

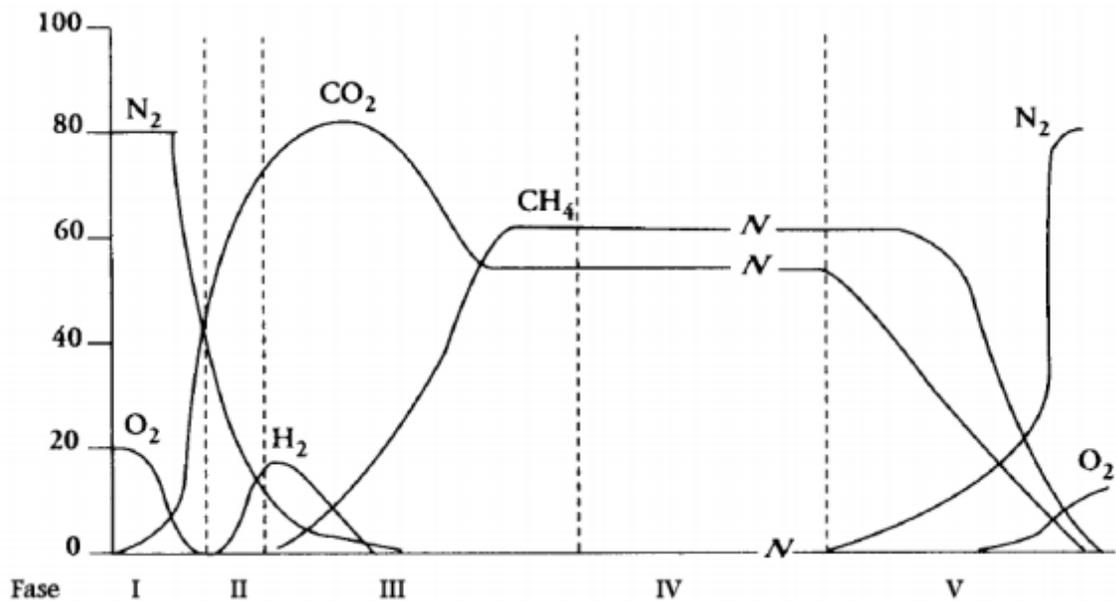
-Fase III: Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano (CH₄), que, en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reduce la generación de dióxido de carbono.

-Fase IV: Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de CH₄ en volumen.

-Fase V: Estabilización, la producción de metano comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema.

(Camargo & Vélez, 2009).

Figura 1. Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario.



Fuente: (Camargo & Vélez, 2009) (figura 1).

Según el artículo titulado “Evaluación del uso de biogás en Rellenos Sanitarios: El caso de Mallasa” menciona que:

El principal componente de los gases emanados en los rellenos sanitarios es el metano, producido por la descomposición de la materia orgánica debido a la acción de microorganismos que se encuentran en el medio, la cual tiene dos etapas: anaerobia y aerobia. La primera, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano y dióxido de carbono, así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos. El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo, si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión.

(Sánchez, 2016).

Dentro de los problemas que suscitan la falta de conocimiento de las implicaciones socioambientales del gas metano dentro del relleno, se destaca el venteo de los gases, el cual se encuentra relacionado con el inadecuado diseño de las chimeneas de evaporación de gases y por ende de las condiciones meteorológicas, generando así problemas de salud.

Un estudio realizado por el departamento de salud de Nueva York en el año 1998, donde se analizaba la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por 25 rellenos, reportó haber encontrado tetracloroetileno, tricloroetileno, tolueno, 1, 1, 1-tricloroetano, benceno, cloruro de vinilo, xileno, etilbenceno, cloruro de metileno, 1,2-dicloroetano y cloroformo en los gases que escapaban y los efectos en la salud de algunos de estos compuestos, (Quispe, Núñez, & Sánchez, 2018).

De esta manera, es importante resaltar las consecuencias de estos gases que son emitidos directamente a la atmósfera, en especial el metano, el cual es el segundo mayor contribuyente al calentamiento global (15%), después del dióxido de carbono (55%), (Echeverri, 2006). Además, según el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), el potencial de calentamiento global del metano (en un horizonte temporal de 100 años) es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono. Sin embargo, debido a su tiempo de vida atmosférico más corto (de 12 años), se estima que las emisiones totales sólo deberán reducirse en aproximadamente el 8% de los niveles actuales para estabilizar las concentraciones de metano, (IPCC, 1996).

Según el Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero, la emisión total de residuos presenta un incremento del 2% promedio anual durante el periodo reportado (1990-2012), influenciado principalmente por el aumento de la participación de la categoría de eliminación de desechos sólidos, en la cual el metano representa un 91,43 %, seguido por dióxido de nitrógeno y dióxido de carbono. Esto a su vez, se encuentra reflejado en el departamento de Santander; ya que para el año 2012 las emisiones y absorciones fueron de 195,72 miles de toneladas (Kton) de GEI, respectivamente, (IDEAM;PNUD;MADS;DNP;CANCILLERÍA, 2016).

En cuanto a las enfermedades que se generan a partir de las emisiones de los GEI, la población está expuesta a partículas atmosféricas que son inhaladas a través del tracto respiratorio, afectando la salud, puesto que las partículas más pequeñas alcanzan los pulmones, donde quedan retenidas o, si son todavía más pequeñas, pasan a los fluidos corporales. Según datos de la Secretaría de Salud de Santander, las causas de muerte en niños menores de 1 año son las enfermedades del sistema respiratorio, entre otras, con una tasa promedio anual de 55,2 casos por cada 100.000 habitantes; y en los niños de 1 a 4 años, las principales causas de mortalidad fueron las externas como accidentes que obstruyen la respiración, seguido de las enfermedades del sistema respiratorio (tasa anual de 7,4 casos por 100.000 habitantes), (Secretaría de Salud de Santander, 2014).

El relleno sanitario del Área Metropolitana de Bucaramanga, en sus inicios se denominó como botadero a cielo abierto, desde entonces hasta la actualidad ha sido utilizado como sitio para disponer los residuos sólidos que se generan en la región, causando problemas de tipo ambiental, social y jurídico, este sitio ha tenido diferentes inconvenientes de tipo técnico y legislativo, puesto que no ha cumplido con las obligaciones requeridas por las autoridades ambientales competentes, convirtiéndolo de acuerdo con el SIU (Sistema Único de Información de Residuos Sólidos) en uno de los puntos de disposición más críticos del país.

(Franco, Meza, & Almeida, 2018).

En la actualidad el relleno sanitario El Carrasco estuvo ad portas de una crisis sanitaria ante el eventual cierre previsto para el 31 de enero de 2020, sin embargo, el Juez 15 Administrativo de Bucaramanga ordenó hallar una solución antes de esa fecha; lo cual permitió que la EMAB diera la opción de usar la fase III, que tiene capacidad para operar hasta septiembre de 2020.

Cabe resaltar que la autoridad de licencias ambientales (ANLA) dio la orden del cierre definitivo del Carrasco para el año 2019, debido a los múltiples problemas tanto técnicos como ambientales que se originaron a partir de la operación de este. Además, se surgieron problemas sociales que originaron conflictos entre la población aledaña al relleno con el alegato de que este les generó una disminución en su calidad de vida.

El relleno sanitario El Carrasco se ha caracterizado por las problemáticas y la emergencia ambiental declarada por la Alcaldía de Bucaramanga mediante Decreto 153 de 2017; esto ha sido causa al daño de los recursos agua, aire, suelo, fauna y flora de este territorio y preocupación de la comunidad aledaña al relleno.

Dentro de los problemas ambientales, se suscitan los siguientes:

Existen serias afectaciones debido a la generación de olores ofensivos por las deficiencias en las labores de cobertura diaria de los residuos, lixiviados generados y vertidos a las fuentes hídricas aledañas al sector (quebradas la Iglesia y El Carrasco), y lixiviados almacenados en los pondajes. Los gases emitidos comprenden compuestos nitrogenados y sulfurados (NH_3 , N_3 , H_2S), CO_2 , óxido nitroso (N_2O) y metano en mayor proporción. Además, se ha presentado agrietamiento y fractura de taludes, asentamiento diferencial por extracción de lixiviados y el reacomodamiento de los materiales o el proceso de drenaje de las lagunas de lixiviados; así mismo, existe un problema en la celda 3, pues constituye una amenaza grave ya que su colapso afectaría la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la zona administrativa, y asentamientos ubicadas en las afueras del relleno.

(Franco, Meza, & Almeira, 2018).

Tabla 3. *Matriz de Problema*

TIPO DE PROBLEMA	DEFINICIÓN
TEÓRICO – PRÁCTICO	Este proyecto basa su formación del proyecto de carácter bibliográfico y a su vez tiene como argumento un desarrollo práctico de factibilidad que permita

	determinar la viabilidad del proyecto empresarial elegido.
CASO DE ESTUDIO	Diseñar un modelo de gestión empresarial ambiental para el aprovechamiento del biogás a partir de los residuos sólidos.

Fuente: Autor, 2020.

PREGUNTA (S) DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera el diseño del modelo de gestión empresarial ambiental para el aprovechamiento del biogás contribuye a mitigar impactos socioambientales producidos en el relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga-Santander?

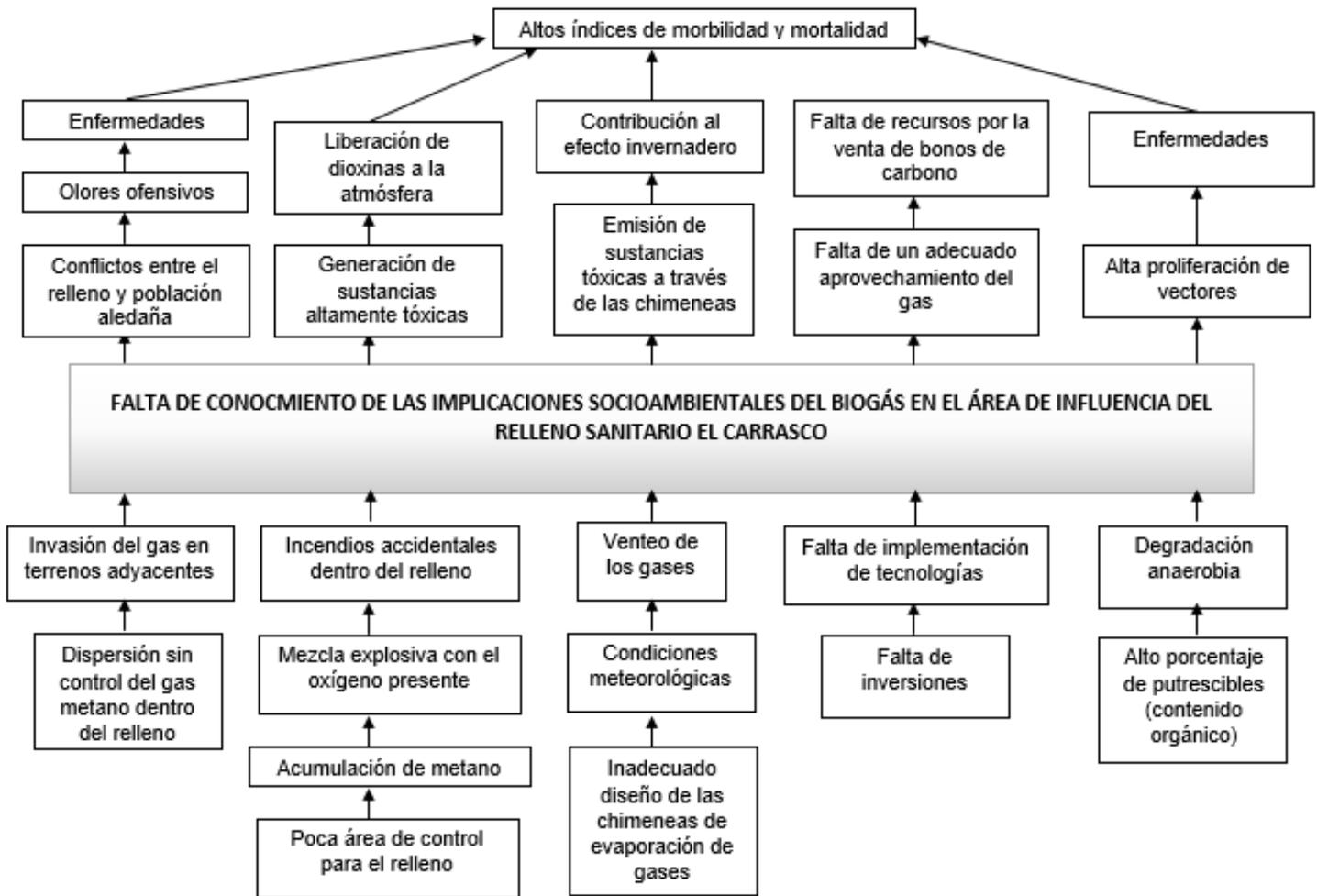
¿Cuál es el proceso más apropiado para aprovechar el biogás en energía?

¿Cuál es la viabilidad del proyecto y sus posibles planes de financiamiento?

4.1 Situación insatisfactoria actual

Teniendo en cuenta el problema y el riesgo que representa la falta de conocimiento de las implicaciones socioambientales del gas metano como principal componente del biogás; que se presenta en el relleno sanitario El Carrasco. En el siguiente árbol de problemas se especifica las principales causas que han llevado a la falta de implementación de tecnologías en donde se aproveche el biogás en energía en beneficio de la comunidad y así disminuir los altos índices de enfermedades y la contribución al efecto invernadero.

Figura 2. *Árbol de problemas sobre el biogás.*



Fuente: Autor, 2020.

4.2 Situación ideal

Diseñar un modelo de gestión ambiental empresarial para el aprovechamiento a gran escala del biogás generado en el relleno sanitario El Carrasco, mediante procesos que a su vez permitan incorporar los residuos mediante la generación de energía y subproductos tales como fertilizantes, compost, azufre y CO₂ para diferentes usos, permitiendo su implementación como proyectos de producción sostenible basados en un modelo de economía circular, convirtiéndose así en una

estrategia y así reducir la entrada de los materiales como la producción de desechos vírgenes, cerrando los bucles o flujos económicos y ecológicos de los recursos.

Así mismo, todo lo que no pueda ser destinado a consumo humano, se puede valorizar en forma de energía y fertilizantes mediante biogás. Tal como lo menciona el Consejo Nacional de Política Económica y Social:

En una economía circular los recursos se regeneran dentro del ciclo biológico o se recuperan y restauran gracias al ciclo técnico. Dentro del ciclo biológico, distintos procesos (compostaje, digestión anaeróbica, biogás) permiten regenerar los materiales descartados, pese a la intervención humana o sin que esta sea necesaria. En el ciclo técnico, con la suficiente energía disponible, la intervención humana recupera los distintos recursos (reutilización, aprovechamiento, tratamiento, entre otros) y recrea el orden dentro de la escala temporal que se plantee (CONPES, 2016).

Figura 3. *Economía circular de la organización.*



Fuente: Autor, 2020.

4.3 Formulación del problema

El relleno sanitario El Carrasco carece de un gran porcentaje de biogás el cual puede ser aprovechado para la demanda energética de la población aledaña o autoconsumo.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de gestión empresarial ambiental para el aprovechamiento del biogás, que permita mitigar los impactos socioambientales producidos en el relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga-Santander, con el fin de aprovechar la producción del biogás.

5.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico ambiental y empresarial del relleno sanitario para estimar la recuperación del biogás como base para analizar su ventaja competitiva en el mercado actual.
2. Realizar el estudio técnico de las diferentes tecnologías de aprovechamiento de biogás a energía eléctrica, mediante la selección conceptual de equipos.
3. Definir el plan estratégico empresarial para proyectos de energía renovable a partir de residuos sólidos, fundamentado en las acciones estratégicas para hacer competitivo el negocio.
4. Evaluar ecológica, social y económicamente la recuperación del biogás proveniente del relleno sanitario, con el fin de gerenciar proyectos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable.

6. Marco referencial

6.1 Marco contextual

6.1.1 Contexto geográfico

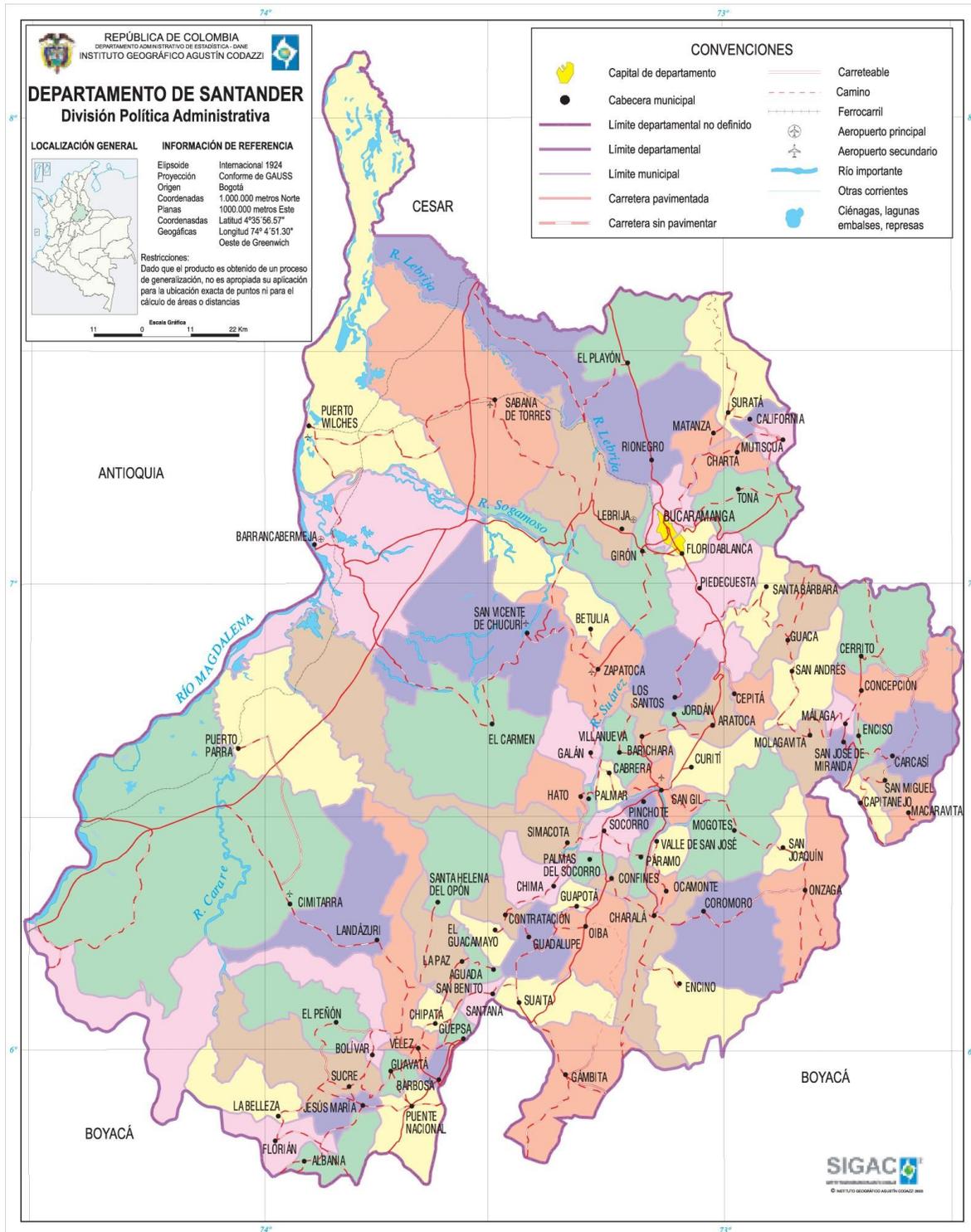
El Departamento de Santander se localiza al noreste del país en la región andina, entre los 05°42'34'' y 08°07'58'' de latitud norte, y los 72°26' y 74°32' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 30.537 km² lo que representa el 2.7 % del territorio. Limita por el Norte con los departamentos de Cesar y Norte de Santander, por el Este y por el Sur con el departamento de Boyacá y por el Oeste con el río Magdalena que lo separa de los departamentos

de Antioquia y Bolívar. En la Figura 4 tomada de Gobernación de Santander (2017), se puede apreciar los municipios que conforman el departamento.

Según datos de la página web de la Gobernación de Santander, durante la época precolombina, antes de la llegada de los conquistadores, el territorio estaba habitado por las etnias Muiscas, Chitarera, Lache, Yariguí, Opón, Carare y de forma especial los Guanes; este último pueblo pertenecía a la familia Chibcha. Los primeros conquistadores en pisar territorio de Santander fueron Ambrosio Alfínger y Antonio de Lebrija en 1532. En 1540 los soldados españoles comandados por Martín Galeano penetraron a territorio guane (Gobernación de Santander, 2017).

Por Ley de 1857 fue creado el Estado de Santander, formado por las provincias del Socorro y Pamplona. Posteriormente le fueron anexados el cantón de Vélez y los distritos de Aspásica, Brotaré, Buenavista, Carmen, Convención, La Cruz, Ocaña, Palma, Pueblo Nuevo, San Antonio, San Calixto, San Pedro y Teorama, segregados de la Provincia de Mompox. La Ley 17 de 1905 segregó las provincias de Guauenta, Galán, Socorro, Charalá y Vélez para formar el departamento de Galán. El 14 de julio de 1910 se creó por Ley 25 el departamento de Norte de Santander formado por las provincias de Cúcuta, Ocaña y Pamplona (Gobernación de Santander, 2017).

Figura 4. Mapa Político Administrativo Departamento de Santander.



Fuente: (Gobernación de Santander, 2017).

El departamento está compuesto por dos grandes unidades fisiográficas denominadas Valle Medio del Magdalena y la cordillera Oriental. El valle del Magdalena, se caracteriza por un modelado plano y suavemente ondulado. Por su parte, la cordillera Oriental ocupa la mayor parte del departamento, el relieve es quebrado y de pendientes fuertes con alturas superiores a los 3.000 m.s.n.m, como en la cordillera de los Lloriqués o de los Cobardes (constituye la divisoria de aguas entre los ríos Suárez al oriente y Magdalena al occidente); otros accidentes orográficos son los páramos, que le sirven de límite, por el oriente con Boyacá sobresalen los páramos de Chontales, Consuelo y Cruz Colorada; por el norte, con Norte de Santander están los de Carcasí, Almorzadero y Santurbán (Gobernación de Santander, 2017).

6.1.2 Contexto demográfico

El departamento de Santander está dividido en 87 municipios. Entre los municipios más destacados, además de su capital, Bucaramanga, se encuentran Barrancabermeja, Barbosa, Charalá, El Peñón, Floridablanca, Girón, Málaga, Oiba, Puerto Wilches, San Gil, Socorro, Vélez y Rionegro. En la página web de la (Gobernación de Santander, 2017), menciona que también cuenta con 2 corregimientos, 477 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados.

Según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE, en el país hay 41 millones 468 mil 384 personas. De ellas, 2 millones 8 mil están ubicadas en Santander, de acuerdo con la población censada.

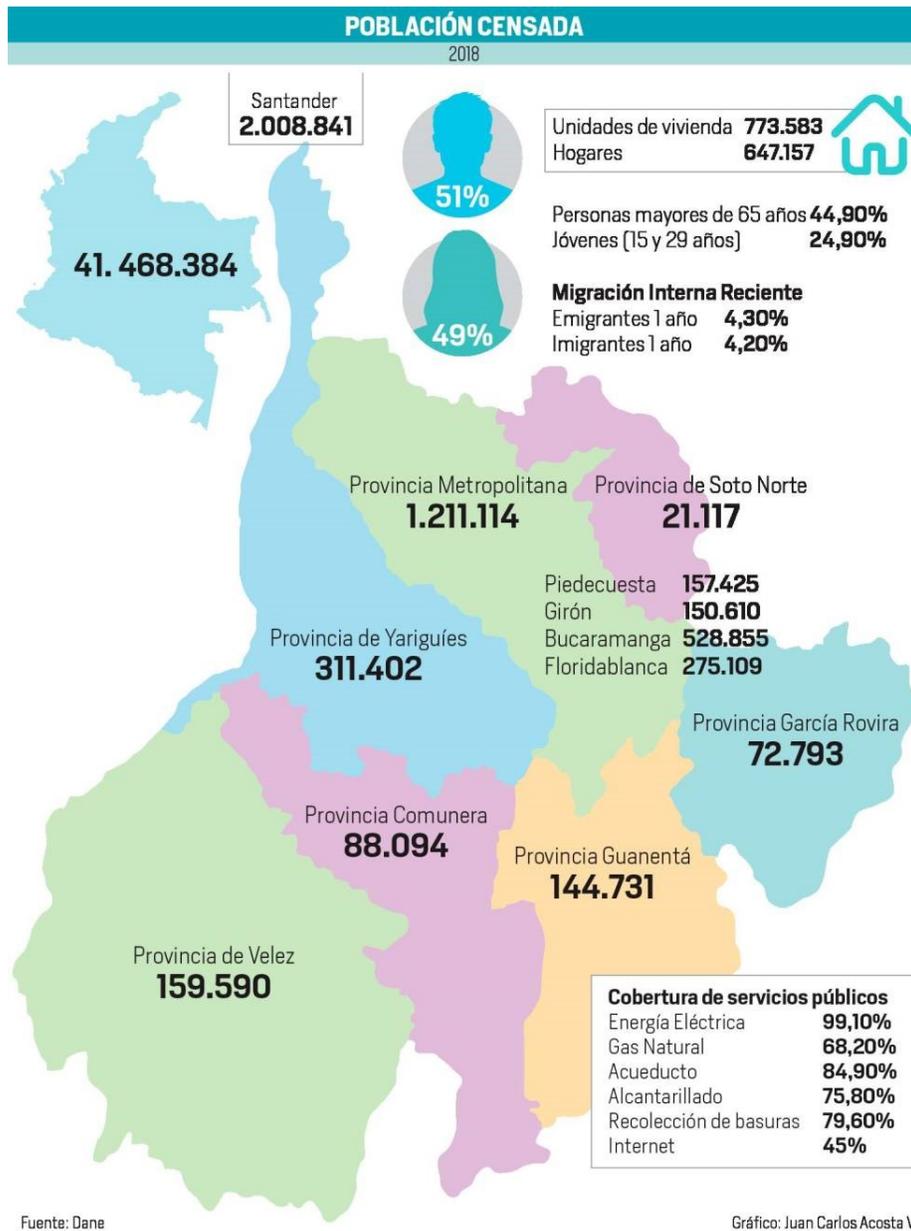
En el departamento hay más hombres que mujeres, según el DANE. El 51% de sus habitantes son del sexo masculino frente al 49% de ellas.

Un dato curioso del informe es que el 44,9% de la población son personas mayores de 65 años, el 24,9% son jóvenes, entre los 15 y 29 años. El 30,2% restante se distribuye entre los 30 y 64 años, y menores de 15 años.

La región es uno de los pocos departamentos que goza con gran cobertura de servicios públicos: el 99,1% cuenta con luz; el 84,9% con agua; el 79,6% tiene recolección de basuras; el 75,8% tiene alcantarillado. Pero, el 31,8% no cuenta con gas natural y en internet aún existe una gran brecha, ya que el 55% de los habitantes no tienen este servicio.

El año pasado Santander logró un crecimiento económico del 2,2%, lo cual la ubicó como la cuarta economía más importante y más competitiva del país y tuvo un ingreso per cápita de US\$9.306.

Figura 5. Censo en el departamento de Santander.



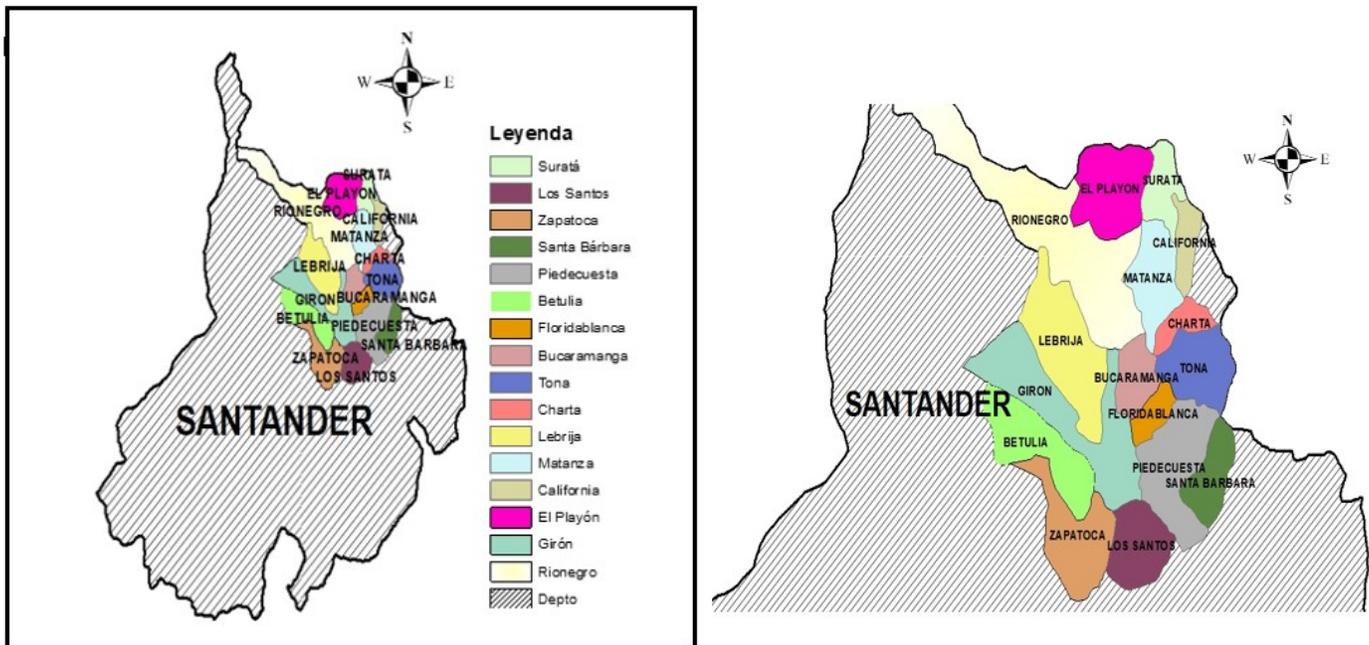
Fuente: (DANE, 2018).

6.1.3 Información general sobre el relleno sanitario El Carrasco

En este apartado, se realiza un acercamiento al contexto geográfico, dado a que se hace necesario describir las condiciones generales del relleno sanitario El Carrasco, en donde se realiza el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos proveniente del Área Metropolitana de Bucaramanga y 13 municipios más, ubicados al oriente del departamento de Santander como se muestra en la Figura 6.

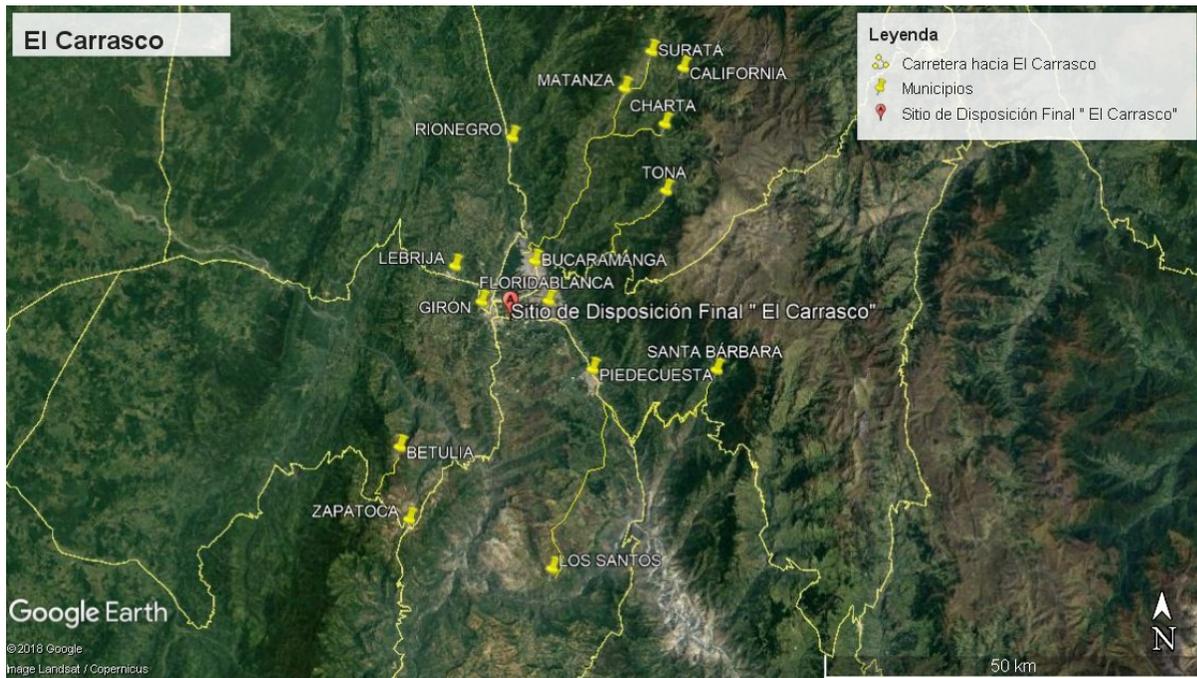
Este territorio denominado “El Carrasco” se encuentra localizado en el kilómetro 6, vía Bucaramanga-Girón; en una cañada natural dentro de los depósitos aluviales de la meseta de Bucaramanga, limitando con el barrio El Porvenir hacia el oriente.

Figura 6. Departamento de Santander y los municipios de influencia en el Carrasco.



Fuente: Autor, 2020.

Figura 7. Ubicación geográfica de los municipios que disponen sus residuos en el relleno sanitario El Carrasco.



Fuente: Google Earth, 2020.

Figura 8. Localización geográfica del sitio de disposición final El Carrasco.



Fuente: Google Earth, 2020.

6.1.4 Stakeholders o partes interesadas

En la Tabla 4 se presenta la relación de actores interesados e involucrados en el relleno sanitario El Carrasco en el Departamento de Santander, especificando para cada uno, los problemas percibidos con relación a la situación actual del relleno y los intereses que los motivan en cumplimiento de su rol o funciones legales, finalmente se presenta una relación de los recursos o mandatos de cada uno de estos actores con respecto a la misma necesidad.

Tabla 4. *Relación de Partes Interesadas vinculadas directa o indirectamente con el relleno sanitario El Carrasco en Bucaramanga, Santander.*

Stakeholders	Intereses	Problema percibidos	Recursos y mandatos
Alcaldía Municipal	En cabeza del alcalde se han liderado una serie de actividades, con el fin de buscar la forma más rápida de solucionar la problemática vivida por tantos años y donde el municipio no tenga que hacer grandes inversiones de recursos.	La Alcaldía defiende que la única alternativa es seguir usando El Carrasco, así mismo, se están realizando trabajos para adaptar la nueva celda con la que la Alcaldía espera disponer los residuos hasta septiembre de 2020. Es por esto, que los residuos seguirán aumentando y las celdas necesitarán ser tratadas por la emanación de gases.	Dar cumplimiento a la Ley 9° de 1979 y todas las normas que se relacionan con ella, para lo cual deberá reglamentar lo relacionado con las medidas sanitarias, y deberá garantizar la debida protección de la salud de los habitantes del municipio, para lo cual ejecutará, entre otras, las acciones necesarias para prevenir la

			incidencia de la mortalidad causada por las enfermedades que faciliten la transmisión por causa de las condiciones sanitarias.
Gobernación de Santander	Fomentar el Plan Integral de Gestión de cambio climático territorial del Santander 2030, por medio del cual se busca fortalecer la gestión integral de residuos sólidos, mediante estrategias como la construcción de centros de producción de bioenergía basada en residuos sólidos.	Los residuos sólidos presentan uno de los mayores problemas ambientales, por la escasa clasificación en la fuente, la insuficiente educación ambiental de las comunidades urbanas, su inadecuado manejo y las continuas declaratorias de emergencia sanitaria. Por lo tanto se deben encaminar esfuerzos para realizar una adecuada gestión que permita reducir las emisiones de GEI.	Una de las principales conclusiones que dio la Gobernación de Santander, en la que estuvieron presentes 17 alcaldes, fue seguir usando una celda transitoria hasta septiembre 30 de 2020.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Interés por desarrollar acciones de promoción de las reducciones de emisiones de GEI.	Asumió la competencia para la evaluación y control ambiental de las actividades adelantadas por la EMAB S.A. E.S.P., relacionadas con el proyecto "Recuperación ambiental del relleno sanitario El Carrasco".	Establecer dónde serán más severos los impactos climáticos y quién es el más vulnerable dentro del sistema.
CAS, CDMB y Área Metropolitana	Regulación y coordinación, gestión de la información. Autoridad ambiental	Falta de apropiación de los recursos financieros que se requieren, para realizar las obras que garanticen la operación en el sitio de disposición final El Carrasco, el tiempo que dure la presente declaratoria emergencia.	Acciones de control de emisiones y vertimientos. Orientar a las alcaldías en la definición de los determinantes ambientales que contribuyen a la disminución de los impactos potenciales del clima así como a la captura de carbono.
Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga S.A E.S.P	Promover diferentes estrategias entre los diferentes actores que tienen relación	Falta de apropiación de los recursos financieros que se requieren, para	Dentro del Decreto 153 de 2017, artículo 4, se solicita a la EMAB que

	<p>con la problemática, con el fin de buscar una solución integral y definitiva a la misma.</p>	<p>realizar las obras que garanticen la operación en el sitio de disposición final El Carrasco, el tiempo que dure la presente declaratoria emergencia.</p>	<p>realice todas las gestiones necesarias para contratar la implementación de una tecnología aplicable al tratamiento y manejo de residuos o en su defecto considerar otras alternativas de tratamiento y manejo de residuos con el propósito de minimizar su volumen y los impactos ambientales que genera su disposición final.</p>
<p>Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA</p>	<p>Realizar labores de seguimiento y control.</p>	<p>Falta de apropiación de los recursos financieros que se requieren, para realizar las obras que garanticen la operación en el sitio de disposición final El Carrasco, el tiempo que dure la</p>	<p>Realizar la evaluación y control ambiental del proyecto y de ser necesario, ordenar la suspensión de los trabajos o actividades, si a ello hubiese lugar y de ser el caso, imponer las sanciones</p>

		presente declaratoria emergencia.	respectivas, previo agotamiento del proceso sancionatorio, conforme lo establece la Ley 1333 de 2009.
Comunidades aledañas al relleno sanitario	Mejorar sus condiciones de salud y por ende su calidad de vida.	Debido a los problemas de contaminación que por años ha afrontado, la comunidad de El Porvenir decidió presentar en 2002 una acción popular con el fin de obligar el cierre de El Carrasco.	Propender por la inclusión de los programas y proyectos en cuanto a mitigación de los GEI y disminución de las enfermedades ocasionadas por los olores ofensivos.
Sector energético interesado en el proyecto.	Fomento por desarrollar medidas para la reducción de impactos asociados a su producción.	El relleno sanitario El Carrasco tiene un flujo de biogás y un porcentaje de metano contenido en él, el cual no se está aprovechando como fuente de generación de energía eléctrica.	Medidas para encaminar un crecimiento bajo en carbono y resiliente al cambio climático.

Fuente: Autor, 2020.

6.2 Glosario

Para una mejor comprensión y entendimiento de los temas tratados en el trabajo, se traen a colación algunos términos que serán usados durante el desarrollo del documento.

Cadena de valor: Hace referencia a la herramienta de análisis que permite ver hacia adentro de la empresa, en búsqueda de una fuente de ventaja en cada una de las actividades que se realizan. Con esta herramienta, se disgrega a la empresa en sus actividades estratégicas relevantes para comprender el comportamiento de los costos y las fuentes de diferenciación existentes y potenciales. Una empresa obtiene la ventaja competitiva, desempeñando esas actividades más barato o mejor que sus competidores, (Porter, 2004).

Diagnóstico ambiental: se constituye con base en el análisis de la organización para identificar los impactos ambientales generados por sus actividades y la posibilidad de proponer acciones de mejora a la situación ambiental actual del lugar a estudiar, (CEPPIA, 2004).

Residuo sólido municipal: Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales (administración pública, establecimientos de educación, etc.), de mercados, y los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas de un conglomerado urbano, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales, (Jaramillo, 2002).

Relleno sanitario: es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen, (Jaramillo, 2002).

Botadero de basura a cielo abierto o basurero: es el sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe

ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos, (Jaramillo, 2002).

Gases: Un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia, (Jaramillo, 2002).

Descomposición aerobia: Es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente, (Jaramillo, 2002).

Descomposición anaerobia: Es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos, (Jaramillo, 2002).

Biogás: es una mezcla de gases, producto del proceso de descomposición de la materia orgánica y cuyo principal componente es el metano, es quemado con el objetivo de reducir olores ofensivos y evitar que el gas quede expuesto al ambiente ya que es uno de los principales gases de efecto invernadero, (EMAB, 2018).

Líquido lixiviado o percolado: la descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado, (Jaramillo, 2002).

Impacto ambiental: se refiere al impacto ambiental como la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por acciones humanas o actividad en un área determinada. Este autor, opina que los impactos ambientales pueden ser positivos o negativos, es decir, beneficiosos o no deseados, (Obando, 2009).

Impacto social: El impacto es la consecuencia de los efectos de un proyecto. Los impactos y efectos se refieren a las consecuencias planeadas o no previstas de un determinado proyecto; para ellos, los efectos generalmente se relacionan con el propósito mientras que los impactos se refieren al fin, (Libera, 2007).

Sistema de gestión ambiental: Un Sistema de Gestión Ambiental es un proceso cíclico de donde se planean, implementan, se revisan y mejoran de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar sus actividades garantizando el cumplimiento de la política ambiental, las metas y objetivos ambientales, en concordancia con los requisitos legales, de sus clientes y demás partes interesadas. En otras palabras, el Sistema de Gestión Ambiental es la parte del sistema de gestión de la empresa que orienta cómo desarrollar e implementar la política ambiental, basada en la prevención de la contaminación y la mejora continua del comportamiento ambiental, bajo el modelo "Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar" (ciclo PHVA), (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2017).

6.3 Marco teórico

Para lograr una articulación de la investigación en términos de la generación y recuperación del biogás, es fundamental fortalecer los conceptos y temáticas con teorías que apalanquen la importancia del desarrollo investigativo de manera amplia, ordenada e integral. En este caso, se plasman dos teorías basadas en los rendimientos teóricos del biogás y el modelo colombiano de biogás.

6.3.1 Rendimientos teóricos de Biogás a partir de los residuos sólidos dispuestos

En teoría, la cantidad de biogás que se genera de una tonelada de carbono biodegradable corresponde a 1,868 Nm³ (metro cúbico normal). En países industrializados, la cantidad teórica es de 370 Nm³ de biogás por cada tonelada de basura depositada. En general, la evidencia empírica en los países desarrollados ha demostrado que la biodegradación ocurre en forma dispereja e

imperfecta, por lo que se considera que la generación de biogás se aproximaría más a los 200 Nm³ por cada tonelada de basura depositada que a la cifra anterior (Colmenares & Santos, 2007).

Ahora bien, el programa de divulgación de metano en vertederos de la EPA de Estados Unidos recomienda varios métodos para estimar con mayor o menor precisión la generación de biogás en un relleno sanitario:

- ✓ **El “Método A: Aproximación Simple”:** Es una aproximación gruesa basada en la cantidad de basura depositada en un relleno, el procedimiento se basa en una razón empírica entre cantidad de basura y flujo de biogás observado en los muchos y variados proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios estudiados por este programa.

Es un reflejo de las características del relleno promedio y puede no representar con precisión las distintas características de los residuos, el clima y otras variables que pueden estar presentes en un relleno específico.

Esta regla simple de aproximación sólo requiere conocimientos acerca de la cantidad de basura depositada en el relleno de interés y se nutre del juicio y experiencia de expertos de la industria, que han establecido que la generación de biogás varía entre 0,05 y más de 0,20 pies cúbicos (pc) al año por cada libra (lb) de residuos.

(EPA A. d., 1996)

Lo que da la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Método de aproximación simple

$$\text{Generación anual de biogás (pc)} = 0,10 \frac{\text{pc}}{\text{lb}} * 2000 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} * \text{cantidad de basura(ton)}$$

✓ **Método B: “Modelo de degradación de primer orden”:** El cual puede ser usado para contabilizar el cambio en la tasa de generación de biogás de acuerdo a la vida útil del proyecto de relleno. El modelo de degradación de primer orden es más complicado que la gruesa regla anterior y requiere de mayor conocimiento de las características del relleno, al menos en lo que se refiere a las siguientes 5 variables:

- Promedio anual de recepción de basura
- Número de años que el relleno lleva abierto
- Número de años que el relleno lleva cerrado, sin recibir basura, si corresponde
- Potencial de generación de metano de la basura
- Tasa de generación anual de metano de la basura.

(EPA A. d., 1996)

Ecuación 2. Método de degradación de primer orden

$$LFG = 2L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Donde:

LFG = Total de biogás generado en el año corriente (pies cúbicos)

L_0 = Potencial total de generación de metano de la basura (pie cúbico/libra)

k = Tasa anual de generación de metano

R = Tasa promedio de recepción de basura anual durante la vida activa (libras)

t = Tiempo en años desde que se abrió el relleno (años)

c = Tiempo en años desde que se cerró el relleno (años).

El potencial de generación de metano L_0 , representa la cantidad total de metano por peso que la basura generaría durante su proceso de descomposición en un relleno sanitario. La constante de degradación, k , representa la tasa a la cual el metano es liberado de cada libra de residuo. El total de biogás que se genera en el relleno es simplemente la multiplicación por 2 de la generación de metano calculada por el modelo (de ahí el factor 2 en la fórmula).

El supuesto es que la mitad del biogás está constituida por metano. Si estos valores fueran conocidos, el modelo podría predecir con bastante precisión la generación de metano, puesto que tanto (L_0) como (k) varían mucho de acuerdo a las características de cada relleno y los residuos recibidos y el clima afecta especialmente al factor k .

(EPA A. d., 1996)

En la utilización de este modelo el Landfill Gas for Energy el programa de la EPA recomienda utilizar los siguientes rangos de valores:

Tabla 5. Rango de valores.

Variable	Rango	Valores sugeridos		
		Clima húmedo	Clima semi-húmedo	Clima seco
Lo(pies ³ /libra)	0-5	2,25-2,88	2,25-2,88	2,25-2,88
K (1/año)	0,003-0,4	0,1-0,35	0,05-0,15	0,02-0,10

Fuente: (EPA A. d., 1996).

6.3.2 Modelo colombiano de biogás para rellenos sanitarios

El Modelo Colombiano de Biogás, provee una herramienta automática para la estimación de la generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios municipales, cuyo propósito es brindar a los propietarios y operadores una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios de recuperar y usar el biogás generado (EPA, 2009).

Los factores que influyen en la generación de biogás están en función de los índices de disposición de los residuos, así como la caracterización (disponibilidad del material orgánico en donde los microorganismos descomponen los residuos y producen CH₄ y CO₂).

Además, las condiciones dentro de la masa de los residuos:

- Humedad (la precipitación se usa para estimar la humedad)
- Temperatura y pH (impactos secundarios)
- Condiciones anaerobias (está limitado por la profundidad del relleno sanitario, compactación de los residuos o recubrimiento superior, pueden promover las condiciones aerobias tóxicas a las bacterias).

(EPA, 2009)

El método utiliza una ecuación de primer orden para estimar la generación de metano en rellenos sanitarios usada por la EPA LandGEM con las siguientes variables:

Ecuación 3. *Ecuación de primer orden*

$$QCH_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k * L_0 * \left(\frac{Mi}{10}\right) * e^{-ktij} (MCF)(F)$$

Donde:

- QCH_4 = Generación anual de metano en el año calculado (m^3 /año)
- Mi = Índice de disposición de residuos (Mg/año)
- Lo = Potencial de la generación de metano (m^3 /Mg)
- k = Constante del índice de generación de metano (1/año)
- n = (año calculado) – (año inicial de aceptación de los residuos)
- $i = 1$ incremento del año
- $j = 0,1$ incremento del año
- tij = Año de la j sección de residuos aceptados en el i año
- MCF = Factor de corrección de metano
- F = Factor de ajuste por incendios

(EPA, 2009).

La recuperación y generación de biogás en los rellenos sanitarios está relacionada por medio de la “eficiencia de captura”, dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 4. *Porcentaje (%) recuperación de biogás*

$$\text{Recuperación de biogás} = \text{Generación de biogás} * \% \text{ de eficiencia de captura}$$

La eficiencia de captura está en función del diseño del sistema de captura, la operación y mantenimiento del sistema de captura, la configuración del relleno sanitario, operación y condiciones del sitio. Por otra parte, si la recuperación de biogás es conocida (medida), se puede realizar por la siguiente ecuación:

Ecuación 5. *Eficiencia de captura si la recuperación de biogás es conocida*

$$\text{Eficiencia de captura} = \frac{\text{Recuperación de biogás (medida)}}{\text{Generación de biogás (modelada)}}$$

Por otra parte, si la recuperación de biogás es desconocida, es decir, no se cuenta con un sistema de captura, la eficiencia se calcula en base a la evaluación del sitio, demostrada en la siguiente ecuación:

Ecuación 6. *Eficiencia de captura si la recuperación de biogás es conocida*

$$\text{Recuperación de biogás} = \text{Generación de biogás (modelada)} * \text{eficiencia de captura}$$

(EPA, 2009).

6.3.3 El sistema de gestión estratégico

Las organizaciones enfrentan desafíos no sólo para asegurar un lugar pertinente en la desafiante sociedad, sino también para estar en constante aprendizaje en construcción desde una visión sistémica e innovadora, de tal manera que la empresa logre los objetivos y el éxito esperado en el corto, mediano y largo plazo.

En este sentido, los doctores Robert S. Kaplan y David P. Norton en su artículo *Mastering the Management System (Dominar el Sistema de Gestión)* presentan en forma amplia y genérica uno de los métodos más nombrados en la literatura, el sistema de gestión estratégico, el cual se resume en cinco (5) fases según (Velasco, 2017), así:

La Fase 1. *Desarrollar la Estrategia*: en esta etapa la organización debe clarificar la misión, visión y valores, realizar un análisis estratégico y formular la estrategia. Esto con el fin de desarrollar el rumbo que diferencie la posición y oferta de la compañía y así poder identificar una ventaja competitiva sustentable.

Fase 2. *Traducción de la estrategia*: la misma implica, una vez formulada la estrategia que los directivos la traduzcan en objetivos y medidas que puedan comunicarse claramente a toda la organización, se establecen las métricas a los objetivos y se seleccionan las iniciativas o proyectos que llevan a su concreción.

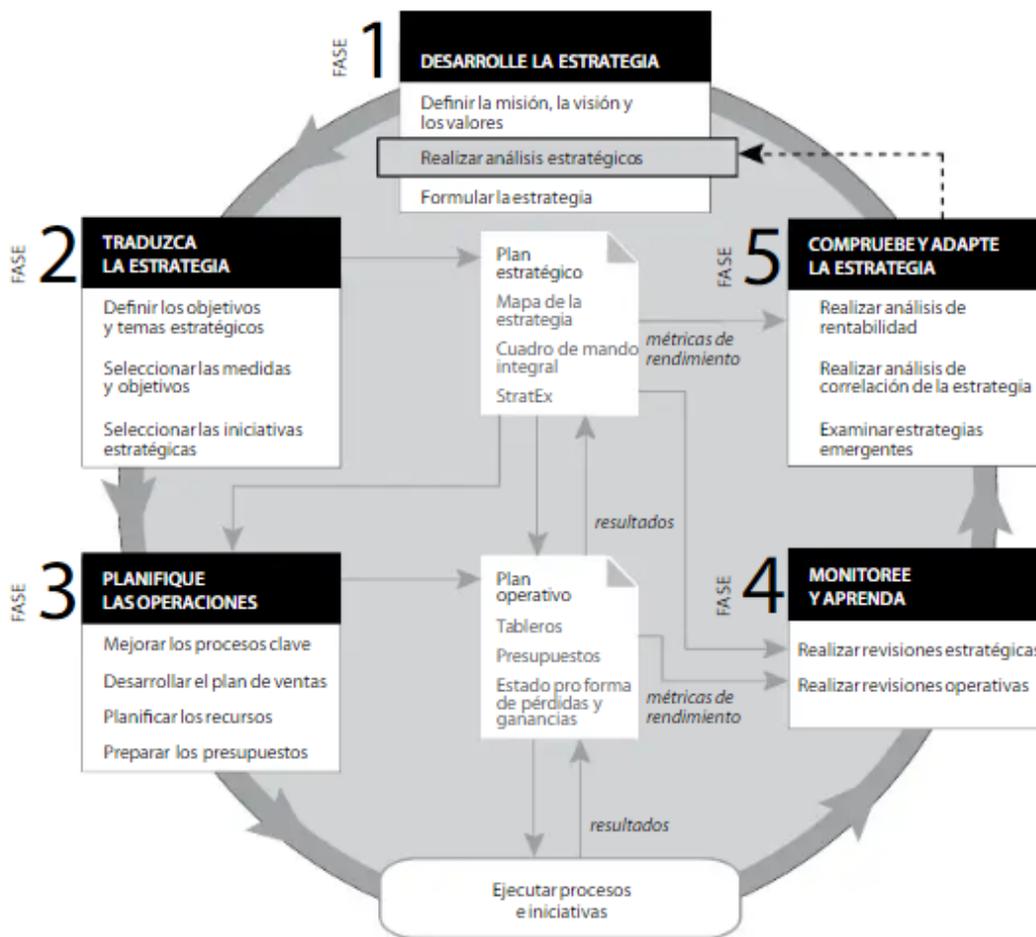
En la Fase 3. *Planificación de las Operaciones*: en el cual la empresa desarrolla un plan operativo que define las acciones que llevarán al logro de los objetivos estratégicos; en este sentido, las organizaciones deben alinear sus actividades de mejora a los procesos con prioridades estratégicas y la asignación de recursos para el funcionamiento del negocio debe ser consistente con el plan estratégico.

En la Fase 4. *Monitoreo y Aprendizaje*: se trata de establecer si la estrategia está bien encaminada y si su ejecución avanza a la velocidad y “ritmo” esperados; este monitoreo claramente consta de dos categorías, las operativas y las estratégicas, a las cuales hay que generar su propio espacio.

Por último, está la Fase 5. *Comprobación y Adaptación de la Estrategia*, en la cual es fundamental la validación de la rentabilidad de la estrategia ejecutada, ya que muchas veces solo nos aplicamos a la implantación de la estrategia sin revisar si ella está arrojando los resultados financieros presupuestados. También, esta fase cabe la posibilidad de realizar correcciones a la estrategia o el surgimiento de nuevas estrategias emergentes.

En la Figura 9, se resumen las fases que componen el sistema de gestión estratégico, que sirve de base para enfocar la propuesta de gestión empresarial que se expone más adelante.

Figura 9. Fases del Sistema de Gestión Estratégico propuesto por Norton y Kaplan.



Fuente: Mastering the Management System, (Kaplan, 2008).

6.3.4 Elaboración del diagnóstico para la producción sustentable

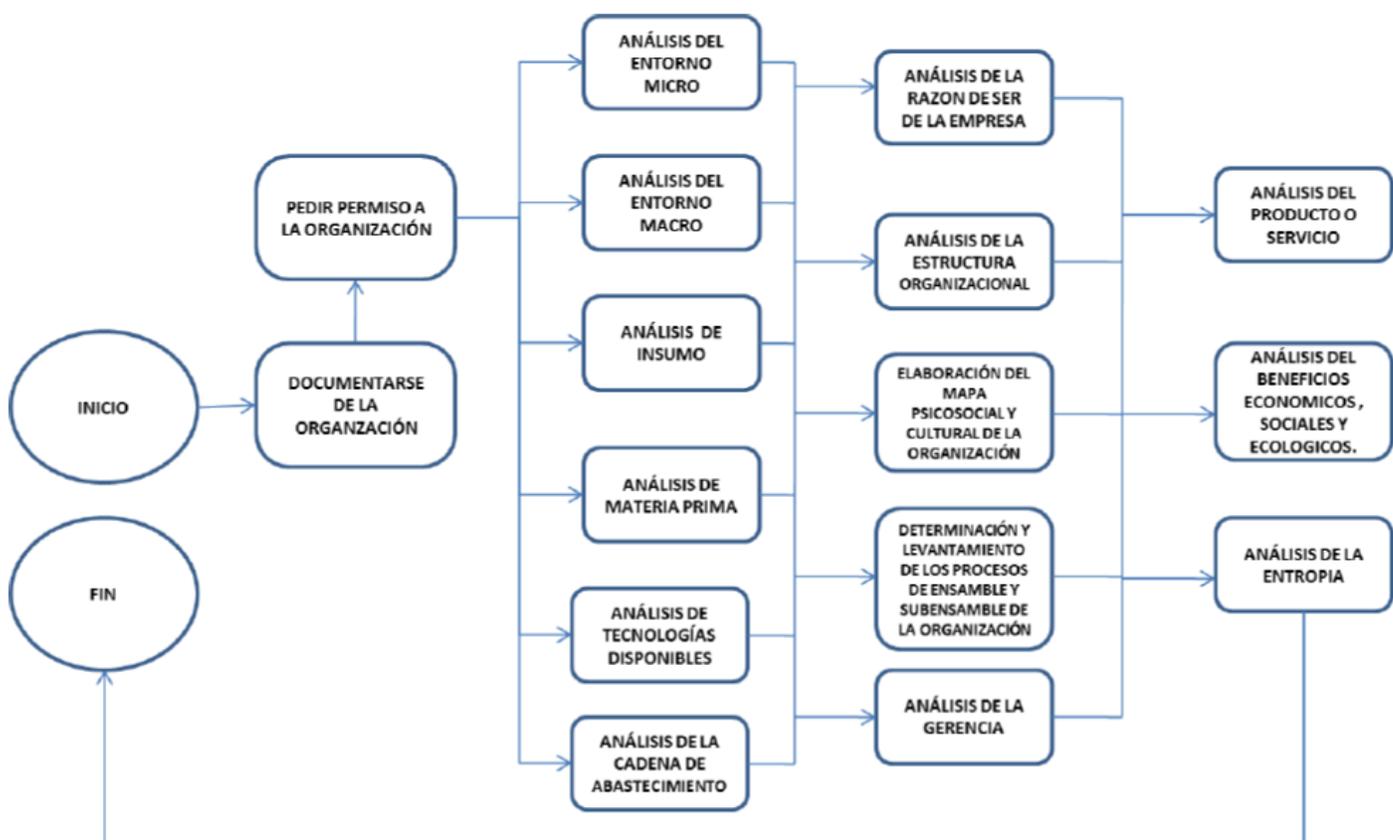
El primer paso a seguir para analizar y sugerir la propuesta de gestión empresarial como se menciona en la Fase 1 es revisar y analizar el negocio y la industria en el cual está inmerso el proyecto de gestión empresarial con el fin de identificar las problemáticas y posteriormente

formular las propuestas de acción o mejora que sean del caso. Con ese fin se hace uso de la guía del proceso metodológico, propuesta por (Romero, 2019), que se sintetiza en la Figura 10.

6.3.4.1 Análisis del entorno

Luego de conocer las necesidades estratégicas de los empresarios o gerentes de la organización y antes de hacer un diagnóstico estratégico interno de la empresa, que ponga de manifiesto sus fortalezas frente a la competencia, es imprescindible elaborar un análisis del entorno, considerado el único sitio donde la empresa encuentra una estrategia coherente y optimiza sus posibilidades de éxito (Paturel, 2006).

Figura 10. Síntesis del proceso de diagnóstico de una empresa para la producción sustentable.



Fuente: Guía para el Diagnóstico Empresarial Ambiental, (Romero, 2019).

El análisis del entorno depende de factores importantes para el desarrollo de las estrategias que se adoptan para llevar a cabo el proyecto. Es necesario efectuar un análisis y un seguimiento detallado para aprovechar las oportunidades que surjan ante futuras amenazas, para ello es indispensable considerar los siguientes componentes para analizar el entorno de un proyecto: económicos, tecnológicos, político-legales, demográficos, socioculturales y medioambientales.

De acuerdo con lo anterior, y con el fin de realizar el análisis del entorno de la presente investigación se emplearon 2 métodos a saber: 1) El análisis PEST o PESTEL, y 2) El análisis de las cinco fuerzas de Porter, de las que se expone a continuación un breve resumen.

6.3.4.1.1 Matriz PEST o PESTEL

La metodología empleada para revisar el entorno general es el análisis PEST, en el cual se examinan los factores externos que están fuera del control de la empresa, pero que pueden afectar a su desarrollo futuro y así mismo, la sociedad se convertirá en una organización activa en cuanto a la exploración del entorno, vigilancia de las tendencias y anticipación de la posición de sus competidores en el futuro.

En el análisis PESTEL se definen seis factores claves que pueden tener una influencia directa sobre la evolución del negocio; la Figura 11 sintetiza dichos factores:

Figura 11. Matriz PESTEL.



Fuente: (Weebup.com, 2016).

Fuerzas Políticas. Las fuerzas políticas, tanto a nivel nacional como en el extranjero, son factores determinantes para el éxito de una organización debido a lo cual son algunos de los factores determinantes para tener en cuenta. El gobierno puede impulsar la creación de nuevas empresas mediante incentivos en los impuestos y subvenciones; también puede dar pie a la reestructuración de las organizaciones, o cerrarlas definitivamente si no cumplen la ley, las ordenanzas, o en general las regulaciones. Y más aún, las alianzas entre los gobiernos tejen un nivel superior de complejidad para las organizaciones con una presencia significativa en otros países (Harrison & John, 2002).

Fuerzas Económicas. Las fuerzas económicas pueden ejercer una profunda influencia en el comportamiento y los resultados de las organizaciones. Entre los factores más importantes están el crecimiento económico, los tipos de interés, la disponibilidad de los créditos, la tasa de inflación, los tipos de cambio extranjeros, y la balanza comercial de otros países. El crecimiento económico puede ser de gran impacto en la demanda de productos y servicios por parte de los consumidores;

por ello las organizaciones deben tener en consideración las previsiones de crecimiento económico al momento de tomar decisiones críticas en la asignación de recursos, cómo por ejemplo la expansión de sus plantas, entre otras; de ahí la importancia del seguimiento y la previsión de acontecimientos en la economía global (Harrison & John, 2002).

Fuerzas Socioculturales. La realización de un análisis de las tendencias sociales es fundamental desde al menos cuatro puntos de vista. En primer lugar, porque la mayoría de los grupos de interés forman parte también de la sociedad, algunos de sus valores y creencias se derivan de influencias sociales mucho más amplias, que pueden generar oportunidades o amenazas para las organizaciones. En segundo lugar, las empresas pueden reducir el riesgo de adquirir una mala reputación “ética” anticipándose y adaptándose a las tendencias socioculturales del momento. En tercer lugar, una correcta valoración de las tendencias socioculturales puede ayudar a las empresas a evitar una legislación restrictiva, las industrias y organizaciones que se autosupervisan tienen menos posibilidades de ser objeto de investigaciones legislativas. Por último, la importancia de este análisis de los valores socioculturales reside en que los cambios demográficos y económicos puede crear oportunidades o generar amenazas para el crecimiento de los ingresos y perspectivas de beneficios de una organización (Harrison & John, 2002).

Fuerzas Tecnológicas. Los cambios tecnológicos crean nuevos productos, servicios, y en algunos casos, industrias totalmente nuevas; así mismo pueden modificar el comportamiento y las expectativas de la sociedad. Internet, computadoras portátiles, sistemas satelitales directos y teléfonos móviles, son todos ellos innovaciones tecnológicas que han promocionado un sorprendente crecimiento en los últimos años, dejando atrás a antiguas industrias bien establecidas que supuestamente estaban bien establecidas, y creando industrias completamente nuevas e influyendo sobre la forma de trabajo y de ocio de mucha gente; por eso, para evitar quedar al margen de la tecnología, las organizaciones deben controlar los desarrollos tecnológicos en sectores distintos del suyo propio, y desarrollar con sus equipos de trabajo, sesiones de lluvias de ideas sobre las posibles consecuencias para sus propios productos y mercados; identificar tendencias y anticiparse a ellas (Harrison & John, 2002).

Fuerzas Ecológico/Ambientales. La sociedad y los gobiernos están cada vez más conscientes del deterioro medioambiental, lo que ha llevado a la realización de movimientos medioambientales y la promulgación de leyes que tratan de preservar el entorno y medio ambiente, cuidar los recursos naturales y promover fuentes de energía limpia. Por esta razón, se refiere a la participación de la empresa en proyectos que tengan impactos negativos sobre el medio ambiente, teniendo en cuenta las reglamentaciones y las tecnologías existentes. Debido a que este es un factor relacionado directamente con el producto, no tiene relevancia a la hora de tomar la decisión de localización (Lli & Saiz, 2015).

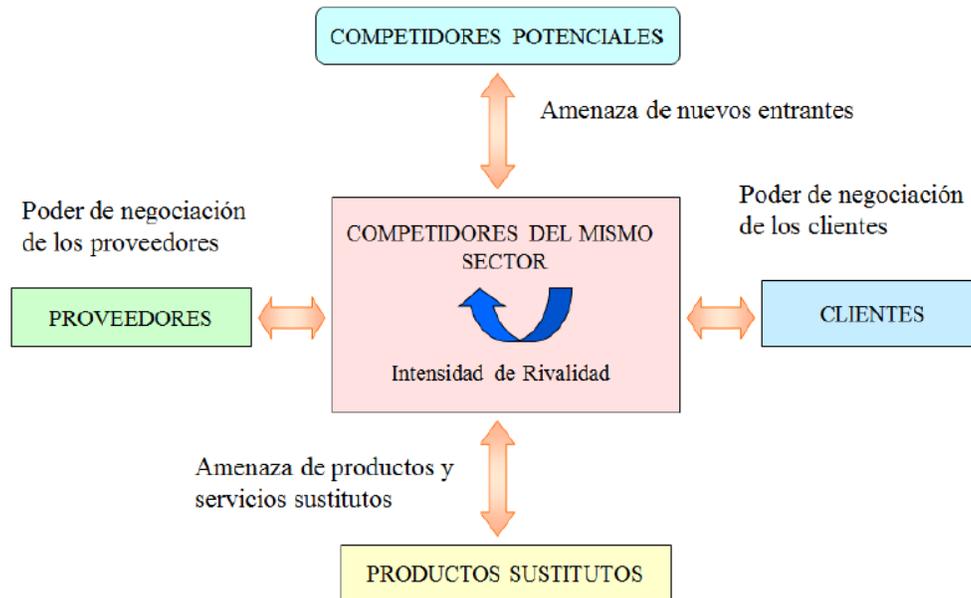
Fuerzas Legales. En general son mucho más relevantes para el *insourcing* que para el *outsourcing*, pero siempre deben ser considerados en el análisis estratégico. Las empresas de ingeniería españolas en general consideran, que es un punto importante a la hora de tomar la decisión de ubicación, pero reconocen en su mayoría que se dedica poco tiempo a estos puntos y normalmente se delegan a gestorías externas, aprendiendo en algunos casos a medida que surgen los problemas (Lli & Saiz, 2015).

6.3.4.1.2 Análisis de las cinco fuerzas de Porter

Las cinco fuerzas de Porter son esencialmente un gran concepto de los negocios por medio del cual se pueden maximizar los recursos y superar a la competencia, cualquiera que sea el giro de la empresa. Según Michael Eugene Porter, si no se cuenta con un plan perfectamente elaborado, no se puede sobrevivir en el mundo de los negocios de ninguna forma; lo que hace que el desarrollo de una estrategia competente no solamente sea un mecanismo de supervivencia, sino que además ofrezca el acceso a un puesto importante dentro de la empresa.

Con ese fin se recomienda estudiar las 5 fuerzas competitivas del mercado que se sintetizan en la Figura 12, los clientes, los proveedores, los competidores potenciales, los competidores de productos sustitutos, y los competidores del mismo sector.

Figura 12. Esquema de las cinco fuerzas competitivas de Michel Eugene Porter.



Fuente: (Rodríguez, 2013).

Poder de negociación de los clientes/compradores. La competencia en un sector industrial está determinada en parte por el poder de negociación que tienen los clientes con las empresas que producen el bien o servicio. En los mercados de productos influyen dos factores: sensibilidad al precio y poder de negociación y dentro de las variables que definen estos factores: concentración de clientes, volumen de compras, diferenciación, información e identificación acerca del proveedor y productos sustitutos (Hernández & Polis, 2011).

Rivalidad entre competidores. La rivalidad entre competidores está en el centro de las fuerzas y es el elemento más determinante del modelo de Porter. Es la fuerza con que las empresas emprenden acciones, de ordinario, para fortalecer su posicionamiento en el mercado y proteger así su posición competitiva a costa de sus rivales en el sector. Además, define la rentabilidad de un sector: cuanto menos competido se encuentre un sector, normalmente será más rentable y viceversa (Hernández & Polis, 2011).

Amenaza de la entrada de los nuevos competidores. La llegada de empresas interesadas en participar en el mismo sector será muy grande y rápida, hasta aprovechar las oportunidades que ofrece ese mercado, así mismo, en caso de que haya beneficios superiores a la media en el sector, atraerá mayor número de inversionistas, aumentando la competencia y, en consecuencia, bajando la rentabilidad del sector. Al intentar entrar una nueva empresa a una industria, ésta podría tener barreras de entradas tales como la falta de experiencia, lealtad del cliente, cuantioso capital requerido, falta de canales de distribución, falta de acceso a insumos, saturación del mercado, etc. (Hernández & Polis, 2011).

Poder de negociación de los proveedores. Esta fuerza hace referencia a la capacidad de negociación con que cuentan los proveedores, quienes definen en parte el posicionamiento de una empresa en el mercado, de acuerdo a su poder de negociación con quienes les suministran los insumos para la producción de sus bienes. Además de la cantidad de proveedores que existan, su poder de negociación también podría depender del volumen de compra, la cantidad de materias primas sustitutas que existan, el costo que implica cambiar de materias primas, etc. (Hernández & Polis, 2011).

Amenaza por productos sustitutos. Los productos sustitutos son aquellos que realizan las mismas funciones del producto en estudio. Constituyen también una fuerza que determina el atractivo de la industria, ya que pueden reemplazar los productos y servicios que se ofrecen o bien representar una alternativa para satisfacer la demanda. Representan una seria amenaza para el sector si cubren las mismas necesidades a un precio menor, con rendimiento y calidad superior (Hernández & Polis, 2011).

6.3.4.2 Análisis de insumos.

El insumo es toda aquella cosa susceptible de dar servicio y mitigar necesidades del ser humano, es decir, nos referimos a todas las materias primas que son utilizadas para producir nuevos elementos. En economía y sociedad se relaciona el insumo con aquellos bienes intermedios con los que se pueden producir otros bienes, es decir, productos semielaborados para producir otros (Pedrosa, s.f).

Según (López J. , 2010), existe diferentes relaciones entre los factores de producción utilizados y el producto que se obtiene de ellos. El análisis de insumo-producto no tiene en cuenta la demanda; su objetivo es determinar el nivel de eficiencia para un conjunto finito de factores con el propósito de producir un conjunto previamente determinado de bienes.

6.3.4.3 Análisis de las materias primas.

Se conoce como materias primas, aquellas obtenidas de la naturaleza que se transforman para elaborar materiales que, más tarde, se convertirán en bienes de consumo. Las materias primas que ya han sido manufacturadas, pero todavía no constituyen definitivamente un bien de consumo se denominan *productos semielaborados, productos semiacabados, productos en proceso o, simplemente, materiales* (González R. , 2005).

La calidad del producto final depende absolutamente de los materiales utilizados para su elaboración. El análisis regular y sistemático en la entrada de los materiales del punto de partida contribuye, incluso antes de que se inicie el proceso de producción, a garantizar que el producto final tenga la calidad adecuada; por tal motivo, dada la importancia de la calidad de las materias primas, se requiere que los análisis sean específicos, fiables y precisos. Además, se espera que sean eficientes y rápidos, dada la importancia de los aspectos económicos, como el tiempo de comercialización, (Headquarters Metrohm International, 2018).

Por otro lado, predecir el costo de las materias primas es un ejercicio difícil. Se refiere a variables extremadamente volátiles, que dependen a su vez de una mezcla de factores. En el mediano y largo plazo hay dudas acerca del crecimiento de la demanda en los países en vías de desarrollo, acerca de la oferta y el acceso a insumos, de los desarrollos tecnológicos, de los costos de producción, de las políticas de los gobiernos y de las negociaciones comerciales. A eso hay que agregarle consideraciones ambientales, incluidos los riesgos del calentamiento global, (Kosacoff & Campanario, 2007).

6.3.4.4 Análisis de tecnologías disponibles.

Para muchas organizaciones, la tecnología viene siendo una herramienta que apoya la formulación de la estrategia de la organización, incluso puede servir como punto de partida en la definición de la misma. Según esta última perspectiva, la tecnología se configura como una variable estratégica capaz de proporcionar oportunidades competitivas a las firmas que sepan utilizarla adecuadamente, (Claver, Llopis, Molina, Conca, & Molina, 2000).

Así, entre los recursos intangibles que la empresa puede controlar y dominar se encuentra su dotación de tecnologías. Siguiendo a Ribault, Martinet y Lebidois (1991), podemos definir la tecnología como un ensamblado complejo de conocimientos, de medios y de saber hacer organizado para una producción, (Claver, Llopis, Molina, Conca, & Molina, 2000).

Para Michael Porter las tecnologías de la información van más allá de lo que es el computador, incluyen además los aparatos de reconocimiento de datos, (lector óptico), tecnologías de la comunicación (TV, radio, Internet) y la automatización de la producción (robot) (1999:82). Es decir, comprende la aplicación de tecnología de la información en todo el proceso de generación del producto, hasta su comercialización directa, por el canal de distribución al consumidor final, (Bocanegra & Vázquez, 2010).

6.3.4.5 Análisis de la razón de ser de la empresa.

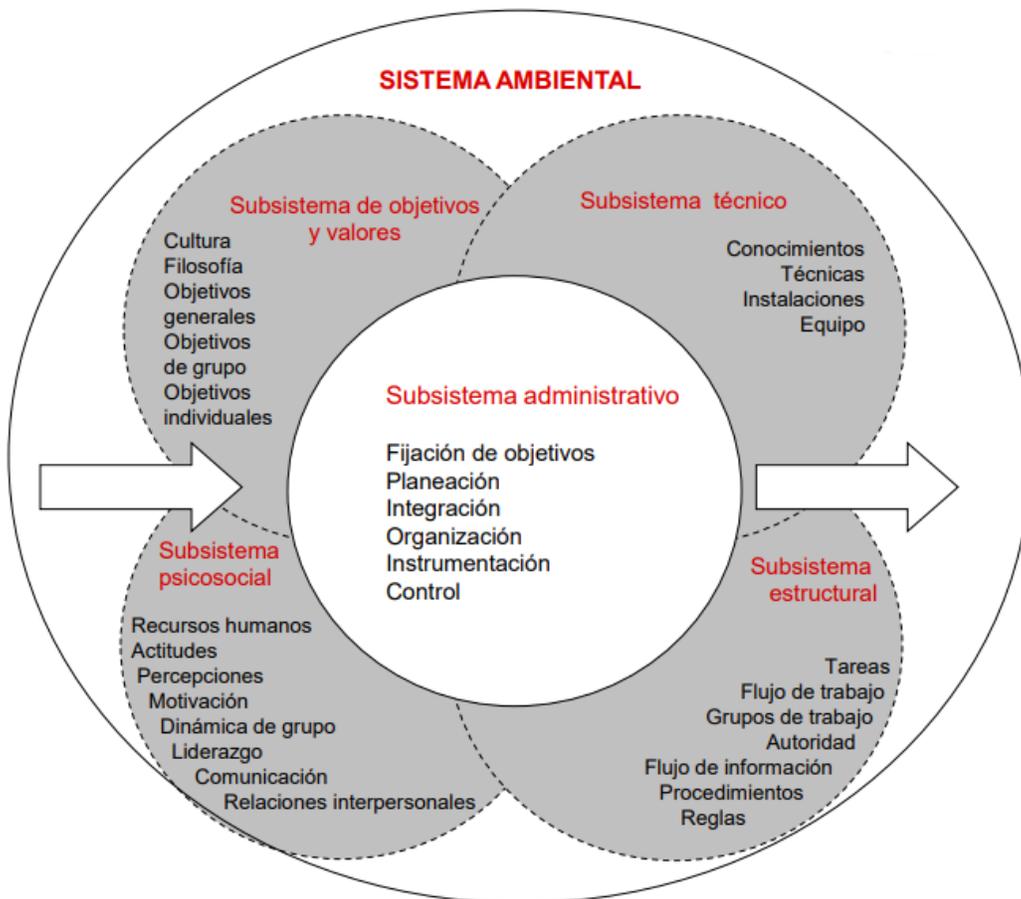
Se considera a la empresa como un sistema sociotécnico abierto, integrado por varios subsistemas, cada uno de estos cumple funciones elementales que determinan el funcionamiento del sistema en su globalidad, como se muestra en la Figura 13.

El subsistema de objetivos y valores de una organización, recoge el conjunto de objetivos definidos por la alta dirección de la corporación y que serían elaborados en factor de las informaciones provenientes de los restantes subsistemas de la compañía y el suprasistema ambiental a partir de los procesos de retroalimentación o *feedback* que se definen para los sistemas.

Incluso, se incluiría la cultura empresarial con los valores e intenciones de la empresa y la percepción de responsabilidad social que tuviera la misma (Kast & Rosenzweig, 1979).

Por otra parte, la cultura organizacional es uno de los elementos principales para entender la razón de ser de la organización y el significado del para que se realizan las cosas de determinada manera, “un sistema cultural reúne los aspectos expresivos y afectivos de la organización en un sistema colectivo de significados simbólicos: Los mitos, las ideologías y los valores. Comprende también los artefactos culturales (ritos, ceremonias, costumbres, metáforas, léxicos, eslóganes, cuentos, emblemas, estructura)” (Gutiérrez M. , 2013).

Figura 13. Sistema de organización y subsistemas.



Fuente: (Kast & Rosenzweig, 1979).

6.3.4.6 Análisis de la estructura organizacional.

Se contempla en él este subsistema el conjunto de procesos y procedimientos aplicados para la consecución de los productos o servicios ofertados por la empresa. Se incluyen también el contenido definido para cada uno de los puestos, así como el establecimiento de los vínculos de las diferentes partes de la empresa que delimitan el organigrama interno y el flujo de relaciones formales que se tienen que producir para un funcionamiento adecuado (Kast & Rosenzweig, 1979).

6.3.4.7 Análisis del mapa psicosocial y cultural de la organización.

De acuerdo con (Kast & Rosenzweig, 1979), toda organización tiene un subsistema psicosocial integrado por individuos y grupos en interacción. Consiste en el comportamiento individual y la motivación, relaciones de función y posición, dinámica de grupos y sistemas de influencia. Se ve afectado también por sentimientos, valores, actitudes, expectativas y aspiraciones de la gente dentro de la organización. Estas fuerzas crean el “clima organizacional” dentro del que los participantes humanos realizan sus actividades y desempeñan su función.

6.3.4.8 Análisis de la gerencia

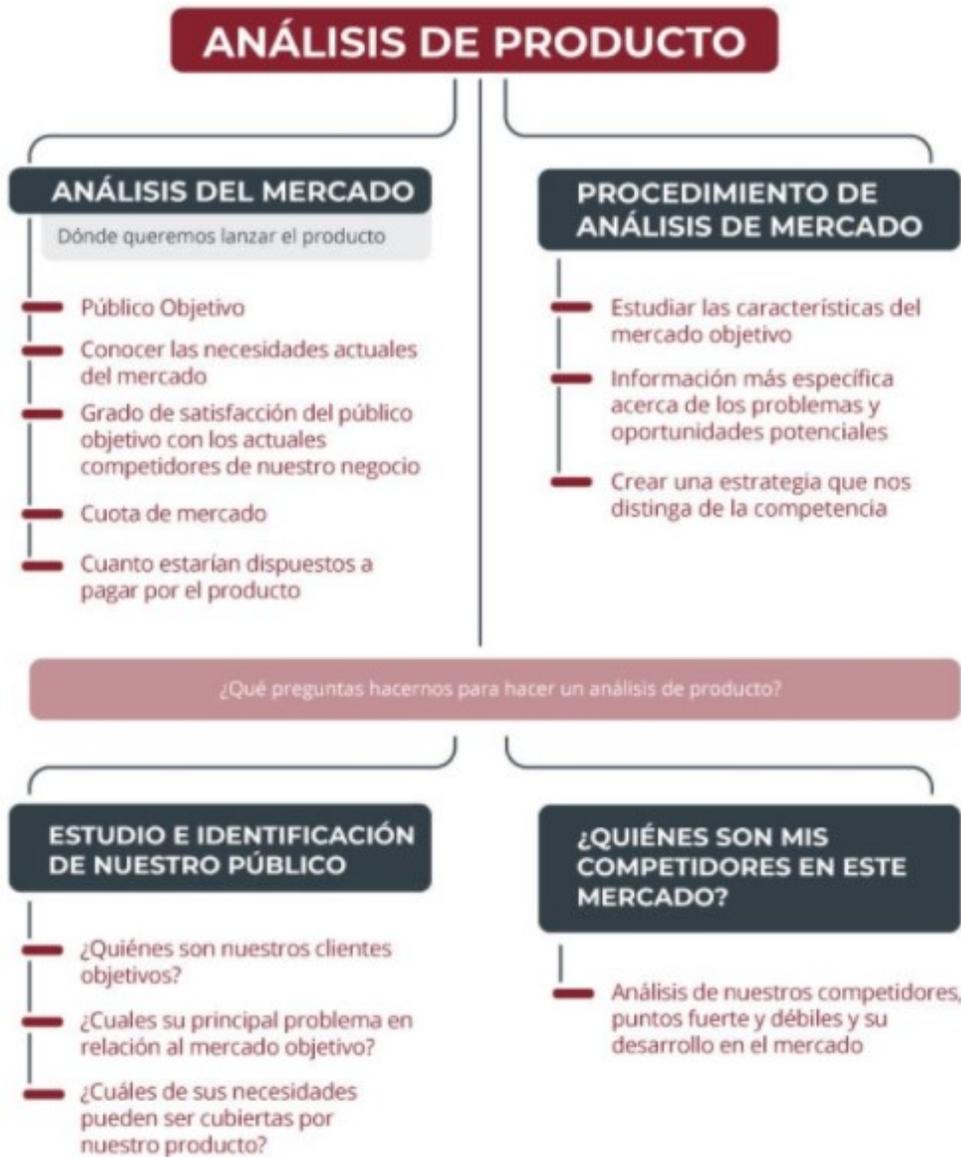
La gerencia estratégica permite que una organización sea capaz de crear su propio futuro a través de formulación, ejecución y su evaluación de acciones que permiten a una determinada organización el logro de sus objetivos. Además, La gerencia es la responsable del éxito o fracaso de su organización ya que de las decisiones estratégicas que tome depende la posición y la ventaja competitiva que la organización ocupe dentro del mercado.

6.3.4.9 Análisis del producto o servicio.

Al momento de analizar el producto o servicio, es necesario analizar el mercado al cual se le ofrecerá el servicio y así poder estudiar las características del mercado objetivo, las oportunidades

potenciales y por último crear una estrategia ante la competencia. La información pertinente para realizar este análisis se muestra en la Figura 14.

Figura 14. *Análisis del producto o servicio.*



Fuente: (Escuela de Negocios, 2020).

6.3.4.10 Análisis de beneficios económicos, sociales y ecológicos.

La perspectiva de futuro más razonable se podría describir de forma más apropiada como desarrollo diferenciado. Dicho concepto está abierto a procesos tanto de crecimiento como de contracción, dependiendo de los sectores. Estos procesos serían consecuencia de las metas sustantivas de un desarrollo económico sólido, ecológica y socialmente en lugar de ser el resultado de una política de crecimiento no selectivo orientada a conseguir beneficios, (Leipert, 2011).

Las organizaciones ponen en marcha programas de beneficios económicos, sociales y ecológicos para mejorar la imagen de la empresa, puesto que los consumidores prefieren una empresa que cuide el medio ambiente, se reduzcan los costos y se preocupe por la seguridad social de los clientes. Dentro de los beneficios económicos, la empresa puede reducir costes, debido al mejor aprovechamiento de los recursos y a la optimización de procesos, atraer nuevos inversores, lo que significa que la empresa pueda estar más alineada con ellos, favoreciendo nuevos negocios y así abrir una amplia ventana de clientes potenciales que aumente la cartera de clientes y sus beneficios.

En cuanto a los beneficios ecológicos que se pueden obtener del desarrollo de un emprendimiento, desde la planeación hasta su ejecución, se puede mencionar que cuidar todos los aspectos relacionados con el medio ambiente, parte de incluir políticas sostenibles que incluyan diversas prácticas, plantear objetivos sostenibles, cuidar la gestión de la conservación de agua y electricidad, trabajar con proveedores sostenibles que incluyan prácticas comerciales sostenibles, desarrollar programas de reciclaje, gestionar los residuos químicos, los cuales traen consecuencias desastrosas y finalmente desarrollar políticas y términos de sostenibilidad.

6.3.4.11 Análisis de la entropía.

La Entropía se refiere al grado de desorganización existente en un sistema. Es una fuerza que lleva al sistema hacia un máximo desorden, hacia una falta de transformación de sus recursos, empujándolo a su desaparición, (Silva, 2009). Es por esto, que la empresa logrará su equilibrio

gracias a los cambios preventivos y correctivos que se puedan hacer para responder a las observaciones de los mecanismos de control.

En el caso de ventas, si se realizan muchas transacciones y estas fueran registradas manualmente, existiría un buen porcentaje de errores dando lugar a que se tenga desorden en los datos de las ventas. Este desorden se incrementará a medida que pase el tiempo y si no se toman medidas la tendencia será no tener datos confiables sobre las ventas. Ahora, si se incrementa los controles en el registro de los datos, se podrá recuperar un estado estable del sistema, (Silva, 2009).

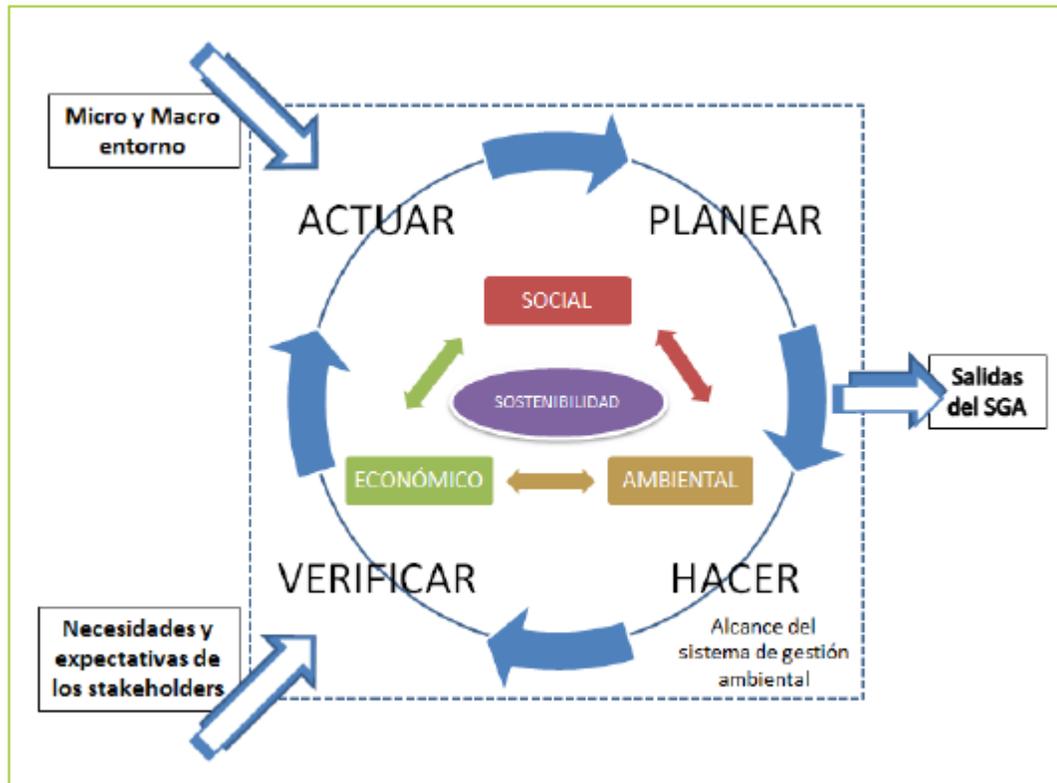
6.3.4.12 Enfoque PHVA

Como un componente fundamental para asegurar la mejora continua en los procesos se encuentra el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) para asegurar una ruta óptima para alcanzar los objetivos del sistema de gestión, (ICONTEC, 2015).

Se puede realizar una descripción breve:

- Planificar: establece todos los objetivos ambientales y los procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política ambiental de la empresa.
- Hacer: implantar los procesos como se encontraba prevista.
- Verificar: establece procesos de seguimiento y medir la política ambiental, incluyendo los compromisos, los objetivos ambientales y los criterios de operación.
- Actuar: establecer decisiones para mejorar de forma continua.

Figura 15. Sistema de gestión ambiental de la organización productiva.



Fuente: (ICONTEC, 2015).

6.3.5 Elaboración del Plan Estratégico.

Un plan estratégico, es el documento que sintetiza a nivel económico-financiero, estratégico y organizativo el posicionamiento actual y futuro de la empresa. La decisión de elaborar este plan, demuestra que la organización posee deseo de planificar, de crecer, de marcar las pautas de la evolución de la organización, y es así como, es importante diseñar el porvenir de la empresa, transmitir esas pautas, contrastarlas y convencer al resto de los interesados que interactúan con la organización, de cuál es el camino hacia el éxito, (Martínez & Milla, 2012).

La base para el diseño de la estrategia del negocio es el análisis de la situación diagnóstica, tanto del ambiente externo como interno de la organización. Una de las herramientas diseñadas con ese fin es la matriz DOFA también llamada FODA o DAFO, que permite analizar qué aspectos pueden favorecer o inhibir el buen funcionamiento de esta.

Por medio de la matriz DOFA muchas empresas han podido sintetizar los más importantes factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que pueden afectar su futuro, como se muestra en la Figura 16. Las fortalezas y debilidades conforman un entorno interno que puede ser controlado, mientras que los otros factores están en un ambiente externo que no puede ser manipulado. Con los factores mencionados, los gerentes pueden determinar cuatro tipos de estrategias: de fuerzas y debilidades, de debilidades y oportunidades, de fuerzas y amenazas, y de debilidades y amenazas (Mariño, Cortés, & Garzón, 2008).

Figura 16. *Matriz DOFA.*

	FORTALEZAS (F) Lista de Fortalezas	DEBILIDADES (D) Lista de debilidades
OPORTUNIDADES (O) Lista de oportunidades	Estrategias F-O Usar las fortalezas para aprovechar las oportunidades.	Estrategias D-O Superar las debilidades aprovechando las oportunidades.
AMENAZAS (A) Lista de amenazas	Estrategias F-A Usar las fortalezas para evitar las amenazas.	Estrategias D-A Reducir las debilidades y evitar las amenazas

Fuente: (Mariño, Cortés, & Garzón, 2008).

Una vez realizado el análisis anterior para la organización, se debe plantear las estrategias y objetivos de desarrollo de la organización a corto, mediano y largo plazo, para lo que se propone realizar un análisis CAME o también llamado CEMA, a partir del cual se definen las acciones para:

- Corregir las Debilidades, y plantear las *Estrategias De Reorientación O Reinversión*.
- Afrontar las Amenazas, y diseñar *Estrategias De Supervivencia*.
- Mantener o mejorar las Fortalezas, y desde ellas establecer las *Estrategias Defensivas*, que pueden ser incluso de contrataque.

- Explorar Oportunidades, para con base en ellas plantear *Estrategias De Ataque*, ofensivas.

El análisis CAME que se sintetiza en la Figura 17 es una de las herramientas que se proponen para la definición del plan estratégico y operativo para la optimización los procesos de la organización empresarial a intervenir, y en el caso concreto de la presente investigación será empleado para la definición del plan de marcha de la idea de emprendimiento a desarrollar.

Figura 17. *Análisis CAME.*



Fuente: (Gómez J. , 2016).

6.3.6 Matriz de impacto ambiental

En este apartado, se describe la matriz de Leopold, un procedimiento para la evaluación de los impactos ambientales que se presentan en el relleno sanitario El Carrasco y, por tanto, para la evaluación de sus costos y beneficios ecológicos y sociales al momento de presentar una propuesta de optimización y recuperación del biogás.

La matriz de Leopold (ML) fue desarrollada en 1971, en respuesta a la Ley de Política Ambiental de los EE.UU. de 1969. La ML establece un sistema para el análisis de los diversos impactos. El análisis no produce un resultado cuantitativo, sino más bien un conjunto de juicios de valor. El principal objetivo es garantizar que los impactos de diversas acciones sean evaluados y propiamente considerados en la etapa de planeación del proyecto (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).

Cuando se empieza a elaborar la matriz, en la primera fila (parte superior) se colocan las acciones a ejecutar en el proyecto a evaluar. En el extremo izquierdo (primera columna) se anotan los factores ambientales que pueden ser afectados por cada acción.

En las celdas formadas por la intersección entre filas y columnas se anotan la magnitud e importancia del impacto. En las columnas finales se asientan los totales de número de afectaciones positivas, negativas y el impacto para cada factor ambiental. En las últimas filas se anotan afectaciones positivas, negativas y el impacto para cada acción.

Figura 18. Matriz Leopold. Interacción entre los factores ambientales y las acciones.

ACCIONES		Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción 4	Acción 5	Acción 6	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	Agregado de Impacto
Factores Ambientales	Factor 1		-5 +7		-8 +4			0	2	
	Factor 2	+6 +9			-9 +10		+4 +5	2	1	
	Factor 3			-9 +4				0	1	
	Factor 4	-5 +2				+8 +7		1	1	
	Factor 5		+4 +6		-10 +5			1	1	
Afectaciones positivas	1	1	0	0	1	1	COMPROBACIÓN			
Afectaciones negativas	1	1	1	3	0	0				
Agregado de Impacto										

Fuente: (Gómez V. , 2019).

Por último, en la esquina inferior derecha se anota el resultado de la suma total de impactos de acciones y el de factores. Ambas cifras deben ser idénticas e indican el nivel y tipo de impacto (negativo o positivo).

Cada acción se evalúa en términos de la magnitud del efecto sobre las características y condiciones medioambientales que figuran en el eje vertical. Se coloca una barra diagonal (/) en cada casilla donde se espera una interacción significativa. La discusión en el texto del informe deberá indicar si la evaluación es a corto o a largo plazo.

Se evalúan las casillas marcadas más significativas, y se coloca un número entre 1 y 10 en la esquina superior izquierda de cada casilla para indicar la magnitud relativa de los efectos (1 representa la menor magnitud, y 10 la mayor). Asimismo, se coloca un número entre 1 y 10 en la esquina inferior derecha para indicar la importancia relativa de los efectos, (Ponce, 2011).

Finalmente, el sistema de calificación requiere que el evaluador cuantifique su juicio sobre las probables consecuencias. El esquema permite que un revisor siga sistemáticamente el razonamiento del evaluador, para asistir en la identificación de puntos de acuerdo y desacuerdo. La matriz de Leopold constituye un resumen del texto de la evaluación del impacto ambiental, (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).

6.4 Marco legal

En esta sección, es importante resaltar los actos normativos más sobresalientes y relacionados con el desarrollo de la investigación, siendo de utilidad para soportar el desarrollo y planteamiento de cada aspecto a mejorar en relación con la calidad del aire y su respectiva relación con los gases efecto invernadero, además de tener en cuenta la normativa relacionada con los residuos sólidos y la legislación e incentivos sobre energías renovables.

Tabla 6. Marco legal relacionado con el desarrollo del proyecto.

ACTO NORMATIVO	EXPEDIDO POR	DESCRIPCIÓN
<i>Constitución Política de Colombia (1991)</i>	<i>Congreso de la República</i>	Ley máxima y suprema de un país; se especifican los principales derechos y deberes de sus participantes, y define la estructura y organización del Estado. Art. 79: Derecho a un ambiente sano. Art. 95: Deberes y obligaciones de las personas para la protección y conservación de los recursos naturales del país.
<i>Ley 99 de 1993- Ley General Ambiental de Colombia</i>	<i>Congreso de Colombia</i>	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la

		gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
<i>Decreto 2811 de 1974 - Código de los Recursos Naturales Renovables</i>	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	Su objetivo es prevenir y controlar los efectos nocivos del uso de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos, se consideran todos los elementos que componen el ambiente o los que influyen en él.
<i>Ley 164 de 1994 - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático</i>	<i>Congreso de Colombia</i>	Por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, llevada a cabo en Nueva York el 9 de mayo de 1992, entrando en vigor el 21 de marzo de 1994.
<i>Ley 629 de 2000</i>	<i>Congreso de la República de Colombia</i>	Aprobación de Protocolo de Kioto en Colombia.
<i>Decreto 1713 de 2002</i>	<i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i>	Establece las leyes 142 de 1994, 632 del 2000, y 689 del 2001, para rendir servicios de saneamiento público, y el Decreto 2811 de 1974 y Ley 99 de 1993 para Disposición Total de los

		<p>Residuos Sólidos. E incluye las definiciones de disposición de residuos, las provisiones.</p>
		<p>Artículo 1. Define el aprovechamiento de biogás de manera implícita</p>
		<p>Artículo 70. Métodos de utilización. Entre estos están: reutilización, reciclado, comportado, generación de biogás y recuperación de energía.</p>
		<p>Artículo 93. Manejo y Monitoreo de gases. Los operadores de los rellenos sanitarios son responsables del manejo de los gases generados de acuerdo con lo que está establecido en los permisos, autorizaciones y planes de operación.</p>
		<p>Artículos 99, 100 y 130. Contienen, la clausura de rellenos, recuperación de los sitios de disposición final y la restauración ambiental. Con lo cual se favorece la posibilidad de aprovechamiento de biogás mediante la generación de actividades en el marco del MDL.</p>

		<p>Artículo 103. Responsabilidad por los impactos causados por los rellenos sanitarios. La persona que ofrece el servicio, que está a cargo de la administración del sistema de disposición final, será responsable de los impactos ambientales y sanitarios resultantes del manejo inadecuado del relleno sanitario.</p>
<p><i>Decreto 1505 de 2003</i></p>	<p><i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i></p>	<p>Define el aprovechamiento y aspectos inherentes a los Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), lo cual favorece el aspecto de adicionalidad de proyectos MDL y la contribución al desarrollo sostenible.</p>
<p><i>Resolución 909 de 2008</i></p>	<p><i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i></p>	<p>Se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Artículo 41: rige el tratamiento térmico de residuos y/o desechos peligrosos en instalaciones de incineración y para hornos cementeros que realicen coprocesamiento.</p>

<i>Resolución 551 de 2009</i>	<i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i>	Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL y se dictan otras disposiciones.
<i>Resolución 2734 de 2010</i>	<i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i>	Establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en virtud del artículo 3 del Protocolo de Kioto.
<i>Resolución 1014 de 2013</i>	<i>Área Metropolitana de Bucaramanga</i>	Aprobar la actualización del plan de manejo ambiental (PMA) para el Relleno sanitario “El Carrasco”, presentado por la Empresa de Aseo de Bucaramanga, con las previsiones establecidas en el considerando décimo octavo de la presente resolución.

<i>Resolución 1541 de 2013</i>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Establece los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.
<i>Decreto 298 de 2016</i>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	<p>Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.</p> <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC): reducir el riesgo y los impactos socio-económicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia</p>
<i>Ley 1931 de 2018</i>	<i>Congreso de Colombia</i>	<p>Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático”, así como en mitigación de gases efecto invernadero, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del país frente a los efectos del mismo y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono.</p>

<i>Ley 697 de 2001</i>	<i>Congreso de Colombia</i>	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
<i>Ley 788 de 2002</i>	<i>Congreso de Colombia</i>	Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones.
<i>Resolución 180609 de 2006</i>	<i>Ministerio de Minas y Energía</i>	Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.

Fuente: Autor, 2020.

7. Metodología

Tal como lo menciona (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), dentro de la investigación, los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto constituyen posibles elecciones para enfrentar problemas de investigación y resultan igualmente valiosos. Son, hasta ahora, las mejores formas diseñadas por la humanidad para investigar y generar conocimientos. Por otra parte, este mismo autor señala que visualizar el alcance de la investigación es importante para establecer sus límites

conceptuales y metodológicos. Ahora bien, la metodología se planteó con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos siendo este importante para llevar a cabalidad el objetivo general.

Para este proyecto el enfoque que se utilizó es mixto, puesto que el trabajo consta de dos partes, por un lado se caracteriza por ser cuantitativo porque mediante el desarrollo del modelo colombiano de biogás se estima la generación y recuperación del mismo que se están produciendo en el relleno sanitario “El Carrasco”, por otro lado, también se caracteriza por ser cualitativo, ya que este se identifica por ser una investigación interpretativa por medio de la recolección y análisis de datos que permitan ajustar o apoyar la pregunta de investigación.

Por tanto, se realiza un diagnóstico ambiental en la primera fase del proyecto con el fin de tener una visión del estado actual del relleno con información primaria y confiable, avizorando un panorama de los problemas y afectaciones socioambientales que ha tenido la operación del relleno sanitario “El carrasco” en las zonas aledañas.

Así mismo, se realiza un diagnóstico de la situación empresarial actual para evaluar los componentes necesarios para el diseño del sistema de gestión empresarial del negocio en el que se circunscribe el proyecto. Luego, se define el estudio técnico por el cual se selecciona la tecnología más adecuada para aprovechar el biogás en energía. Una vez, realizado este tipo de investigación, se procede a trabajar en el plan estratégico, acorde a las necesidades y expectativas que se tienen sobre el desarrollo de la Sociedad Empresarial y así poder presentar el modelo de gestión empresarial ambiental. Finalmente, se evalúa la propuesta empresarial para recuperar el biogás por medio de los aspectos ecológicos, sociales y económicos y lograr determinar la factibilidad del proyecto.

Por otro lado, el alcance que tiene el proyecto es descriptivo, puesto que este tipo de investigación tiene como prioridad describir las cualidades y características de un problema específico. Su función principal es profundizar, describir, medir conceptos o situaciones. Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto se realiza para determinar la generación y el aprovechamiento del biogás que se estima por medio del modelo colombiano de biogás, así como determinar la

capacidad de energía que se puede recuperar y con base en esto se describe el impacto tanto ambiental como social.

Existen diferentes métodos de investigación, pero las que se presentan en el documento es la recopilación de información suministrada por la EMAB, para captar los aspectos significantes del estado actual del relleno sanitario El Carrasco dentro de la cual a través de una metodología registrada se presentan y recopilan los datos para dar cumplimiento con los objetivos planteados dentro del trabajo. Este tipo de técnica tiene la particularidad de mostrar de manera selectiva la posible conexión de ideas y el proceso que implica reunir la información, interpretarla, evaluarla y conseguir datos de manera imparcial y clara.

Es importante elegir el tipo de herramientas que se utiliza para llevar a cabo el método seleccionado. Sugiriéndose, se empleen herramientas que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y se ajustan. Por ende, para este proyecto se utilizó como herramienta la revisión documental, el uso del modelo colombiano de biogás, matriz DOFA, análisis CAME, matriz Leopold, entre otros, con el fin de presentar resultados que redunden a partir del diseño de modelo de gestión empresarial ambiental.

7.1 Tabla metodológica

En la Tabla 7 se presenta el resumen de la metodología implementada en la ejecución del proyecto, elaborada con base en la guía entregada por la Dirección de la Maestría en Gestión Empresarial de la Universidad El Bosque, módulo Seminario de Investigación II.

Tabla 7. Tabla metodológica del proceso de investigación.

Objetivos	Actividades	Métodos	Herramientas	Resultados
1.Elaborar un diagnóstico ambiental y empresarial del relleno sanitario para estimar la recuperación del biogás como base para analizar su ventaja competitiva en el mercado actual.	<p>1.1 Recolección de información primaria y secundaria.</p> <p>1.2 Análisis e interpretación de datos.</p> <p>1.3 Elaboración del diagnóstico ambiental.</p> <p>1.4 Elaboración del diagnóstico de la situación empresarial actual.</p>	<p>-Información primaria de la EMAB</p> <p>- Análisis PEST o PESTEL.</p> <p>- Análisis de las cinco fuerzas de Michael Porter.</p>	<p>-Software “Modelo colombiano de biogás”.</p> <p>-Cartografía base.</p> <p>-Guía metodológica para la elaboración del diagnóstico para la producción sustentable.</p>	<p>-Diagnóstico ambiental del estado actual del relleno sanitario.</p> <p>-Diagnóstico de los componentes necesarios para el diseño del sistema de gestión empresarial y ambiental del negocio en el que se circunscribe el proyecto.</p>
2. Realizar el estudio técnico de las diferentes tecnologías de aprovechamiento de biogás a energía eléctrica, mediante la selección conceptual de equipos.	<p>2.1 Investigación en base de datos nacionales e internacionales.</p> <p>2.2 Análisis de la información.</p> <p>2.3 Selección de equipo para generar energía.</p>	<p>-Recopilación de información</p>	<p>-Consultas en internet.</p> <p>-Reuniones de trabajo.</p>	<p>-Estudio técnico de la tecnología seleccionada para aprovechar el biogás en energía.</p>

3. Definir el plan estratégico empresarial para proyectos de energía renovable fundamentado en propuestas de acción estratégicas.	3.1 Diseño del plan estratégico.	- <i>Mastering the</i>	-Matriz DOFA.	Diseño del Modelo de
	3.2 Diseño del plan operativo.	<i>Management System</i> by R. S. Kaplan and D. P. Norton.	-Análisis CAME.	Gestión Empresarial que se propone para el desarrollo del Proyecto.
4. Evaluar ecológica, social y económicamente la recuperación del biogás proveniente del relleno sanitario, con el fin de gerenciar proyectos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable.	4.1 Evaluación del componente ecológico y social.	-Evaluación financiera de proyectos.	-Consultas en internet.	Determinación de la factibilidad ecológica,
	4.2 Determinación del flujo de caja del proyecto.	-Evaluación de impacto socio ambiental.	-Asesorías de trabajo.	social y financiera de la ejecución del proyecto.
	4.3 Determinación del Valor Presente Neto.		-Matriz Leopold.	
	4.4 Determinación de la Tasa Interna de Retorno.			

Fuente: Autor, 2020.

8. Sistema de gestión empresarial de la organización productiva

Como se indicó en el subcapítulo 6.3.4, el primer paso para plantear o sugerir una propuesta de gestión empresarial es realizar el análisis situacional de partida del proceso productivo de la organización o proyecto empresarial que se planea desarrollar con el fin de identificar las posibles problemáticas, condicionantes, determinantes, o amenazas y con base en ello formular las propuestas de mejora que sean del caso. Por esta razón como base para la propuesta de optimización que se presentará en este proyecto, se despliega a continuación el diagnóstico situacional que se elaboró siguiendo la guía presentada en la Figura 10.

8.1 Análisis del entorno micro

Este análisis comprende las cinco (5) fuerzas competitivas presentes en el entorno y detectar como se relacionan con la forma de funcionamiento de la empresa. Por consiguiente, se analiza cada uno de los eslabones en la cadena de valor de los residuos sólidos del departamento de Santander, siguiendo la propuesta de Michael E. Porter que se explica en el numeral 6.3.4.1.2 las cuales pueden afectar la habilidad de satisfacer a los clientes actuales y potenciales, y obtener la rentabilidad esperada.

8.1.1 Poder de negociación de los clientes.

Hay un fuerte poder de negociación sobre los proveedores de parte de los clientes, desde el punto de vista de que la empresa encargada del relleno sanitario, es el cliente principal, la cual opera todos los procesos relacionados a la recolección y tratamiento de los residuos sólidos. Sin una alianza con esta empresa, no se podría llevar a cabo el proyecto. Lo mismo ocurre con los demás rellenos sanitarios en los cuales se quiera aprovechar el biogás.

8.1.2 Poder de negociación de los proveedores.

En este caso, el relleno se considera tanto cliente como proveedor, debido a que aporta los insumos requeridos para procesar el biogás en la planta de producción de energía, esa materia

orgánica como insumo resulta tener un alto nivel de importancia, dado a que se necesita un porcentaje significativo para producir electricidad.

Por eso, se considera que el poder negociador de los proveedores es alto, ya que siempre se necesitará el mismo recurso que resulte más accesible, asequible y cumpla con los requerimientos del proceso.

8.1.3 Amenaza de nuevos entrantes o competidores.

En relación a la posibilidad de que otras empresas accedan al mercado, resulta complicado, debido a que son pocas y de un tamaño considerable las empresas que actúan en el sector, sin embargo, este sector se puede ver amenazado por empresas con otra tecnología en producción de electricidad (Turbinas de gas, Microturbinas, entre otras), las cuales entrarían a competir por las características de la selección de la tecnología, considerando factores en cuanto al costo, equipos requeridos, eficiencia y potencia de la planta.

Otro factor importante, es la cantidad de toneladas de residuos sólidos que determinan la capacidad de la planta, lo cual no resulta ser el mismo valor para todos los proyectos de aprovechamiento del biogás en rellenos sanitarios, y debido a esa cantidad de materia orgánica se determina la capacidad que requiere la planta para producir energía y así seleccionar la tecnología más adecuada para ese proyecto.

8.1.4 Ingreso potencial de nuevos productos o servicios sustitutos.

En el contexto del nicho del tratamiento convencional que se realiza con los gases que se generan en el relleno sanitario, es una quema mediante chimeneas, lo cual se considera como producto sustituto, dado que es la alternativa utilizada en el relleno sanitario, la cual no se considera ambientalmente sostenible, por los problemas de contaminación, de salud y niveles bajos de la calidad de vida de la población aledaña.

8.1.5 Rivalidad entre los competidores existentes.

El nivel de competencia se considera bajo, toda vez que, la solución que se plantea al relleno sanitario es óptima en cuanto a beneficios ecológicos y sociales y la generación de nuevos ingresos para el mismo, por ende, se considera que la barrera sería competir con la solución que tienen actualmente y establecer alianzas estratégicas para comenzar a aprovechar el biogás que se genera de una forma más eficiente, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida y disminución de los impactos ambientales.

8.2 Análisis del entorno macro

Con base en la información levantada, se evalúan las variables del macro entorno que podrían causar un mayor impacto, enfocándose en los factores políticos, económicos, socioculturales, tecnológicos, ecológicos y legales. A continuación, se presenta una recopilación de los aspectos relevantes que se analizaron al respecto.

Tabla 8. Análisis PESTEL del proyecto en mención.

Componente	Factor	Descripción del factor	Nivel de Incidencia			Describa cómo incide en el proyecto	¿Cómo potenciaría los efectos positivos y disminuiría los negativos?
			Bajo	Medio	Alto		
<i>Político</i>	Políticas que regulen el sector en el que se desarrolla el proyecto.	Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES 3918 de 2018 “Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia”.			X	Metas asociadas a la movilización nacional de recursos: 7.a. De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos	Promover por medio de este proyecto, la sostenibilidad, proveniente de buenas prácticas y modelos aplicados a la gestión y producción, implementar la tecnología e innovación para mejorar la eficiencia, la productividad y competitividad.

						contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias, (CONPES, 2018).	
		Política Nacional sobre Gestión Integral de Residuos Sólidos- Decreto N° 47-2005.		X		Establece el manejo integral de los residuos sólidos municipales como parte del desarrollo sostenible, estableciendo que el manejo de los residuos debe contemplar la minimización en la producción de los mismos, el reciclaje, la recolección, el tratamiento y la	Aprovechando energéticamente el biogás que se genera por la descomposición de los residuos y así, contribuir a la reducción de los GEI en un 20% en el año 2030, en el marco del Acuerdo de París.

						disposición final adecuada.	
		Plan Energético Nacional 2020-2050		X		La Unidad de Planeación Minero Energética UPME, mediante este Plan incentiva el aprovechamiento y uso de la biomasa con el desarrollo de plantas de generación eléctrica.	Incentivar el desarrollo de empresas que estén relacionadas con el proyecto.
Económico	Comportamiento de determinados indicadores macroeconómicos.	Exención en el pago de impuestos de renta generada por la venta de energía proveniente de residuos.			X	Se establece esta exención para proyectos que tramiten y vendan certificados de carbono e inviertan en obras de beneficio social.	Incursionar en la venta de certificados de carbono.

<i>Social</i>	Cultural-seguridad.	La cultura de incineración de los residuos sólidos que afectan la salud y el ambiente.			X	Por medio de este proyecto se busca el mejoramiento de las condiciones de salud de la población aledaña al relleno sanitario.	Mejorar la calidad de vida de las personas.
<i>Tecnológico</i>	Tecnología disponible.	El Gobierno de Colombia invierte en Ciencia, Tecnología e Innovación solo el 0,5% del PIB. En comparación con otros países como Costa Rica, tiene una inversión en Investigación y Desarrollo, superior en un 30% a la inversión media en latinoamericana, y			X	El no contar con la tecnología adecuada para producir energía a partir de biogás, se hace más difícil la producción de este tipo de productos, por lo que se deben importar y en algunos casos no son eficientes.	Establecer convenios con otros países para el apoyo en energías renovables.

		un 50% mayor que el resto de Centroamérica.					
<i>Ecológico</i>	Clima-temperatura.	En climas cálidos la recolección de los residuos debe ser mucho más rápido para evitar la pérdida de propiedades.	X			La disminución de la humedad afecta la producción de Biogás.	Capacitar a las personas en cuanto al tiempo o momento adecuado para la recolección de los residuos.
<i>Ecológico</i>	Aire-olores.	Escape de malos olores al medio ambiente.			X	Quejas por parte de la comunidad aleña al relleno sanitario.	La instalación de esta tecnología disminuye los malos olores.
<i>Ecológico</i>	Contaminación.	Mitigación de Gases Efecto Invernadero.			X	La tecnología de generar energía eléctrica, aprovecha las emisiones de biogás provenientes de los residuos sólidos y disminuye su	Aprovechamiento del biogás en energía.

						propagación al medio ambiente.	
Legal	Legislación relacionada con el proyecto.	Constitución Política de Colombia		X		Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.	El proyecto se adapta al marco normativo colombiano y así constituir un factor positivo en el desarrollo de la propuesta empresarial.

Fuente: Autor, 2020.

8.3 Análisis de insumos y materias primas

La materia prima es susceptible de transformarse por la acción de microorganismos aerobios o anaerobios y dar lugar a un tipo de enmienda orgánica, considerado como el principal insumo necesario para la producción de biogás.

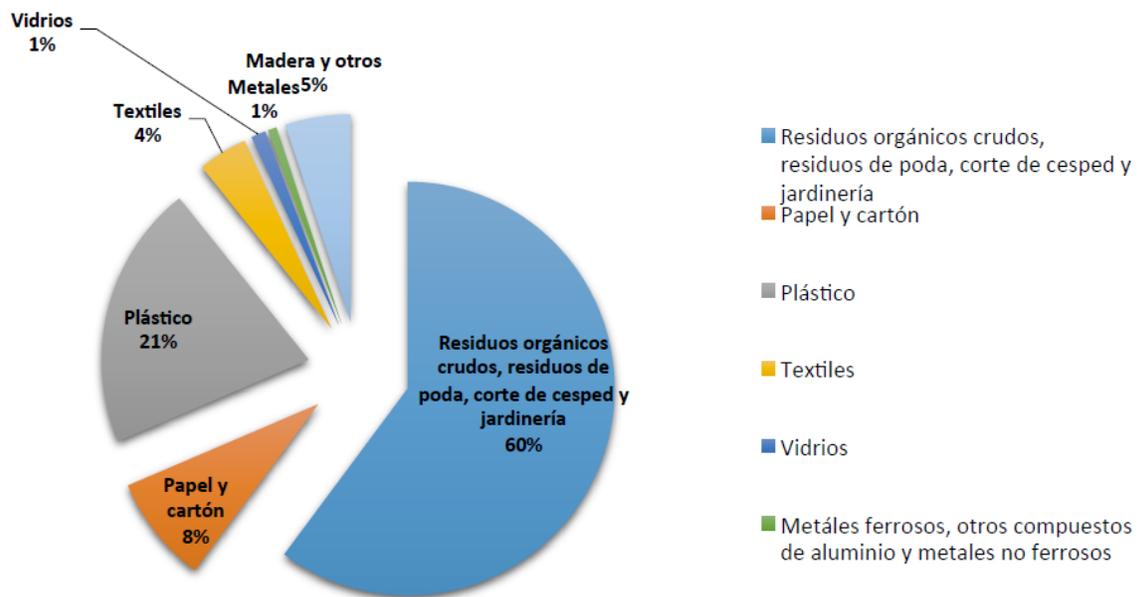
Según (Collazos, 1988), los residuos sólidos se clasifican de acuerdo con la fuente productora como: residencial o domésticas, comerciales, comerciales de alimentos, plazas de mercado, industriales, institucional, especiales, barrido de calles y lugares públicos; y de acuerdo con su composición pueden ser: patógenas, tóxicas, combustibles, inflamables, explosivas, radioactivas y volatilizables.

Esto a su vez, se ve reflejado en las características de los residuos sólidos, ya que éstos varían en cada municipio en función de la actividad dominante (industrial, comercial, turística, etc.), las costumbres de la población (alimentación, hábitos, patrones de consumo) y el clima, principalmente. La composición de los residuos también varía de acuerdo a su fuente de producción, debido a que el conocimiento de esta información, permite establecer cuáles deben ser los equipos de recolección, el establecimiento de tarifas y la disposición final.

En el relleno sanitario El Carrasco sólo se reciben residuos sólidos domésticos (presentan alto contenido de materia orgánica), comerciales (presentan alto contenido de papel y cartón) e industriales; el cual comprende un conjunto de diversos materiales con unas propiedades físicas y químicas particulares que inciden sobre sus posibilidades de recuperación, tratamiento y disposición final, (López & García, 2006).

En la Tabla 9 “Composición física de los residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco para el año 2017” se muestra el porcentaje de materia orgánica, el cual corresponde al 60%, lo cual demuestra un porcentaje óptimo para la generación de biogás que pueda ser aprovechado en energía.

Tabla 9. Composición estimada de residuos que ingresan al relleno El Carrasco para el año 2017.



Fuente: (Singep, 2017).

8.4 Análisis de tecnologías disponibles

El biogás puede ser aprovechado energéticamente mediante el uso de tecnologías que conviertan la energía química del combustible en energía útil, como energía térmica, eléctrica o mecánica. Los usos energéticos del biogás se podrían clasificar en generación de electricidad, de calor, de ambos (co-generación) y en producción como combustible, (Carrasco, 2015).

Es necesario definir el rendimiento o eficiencia del proceso como:

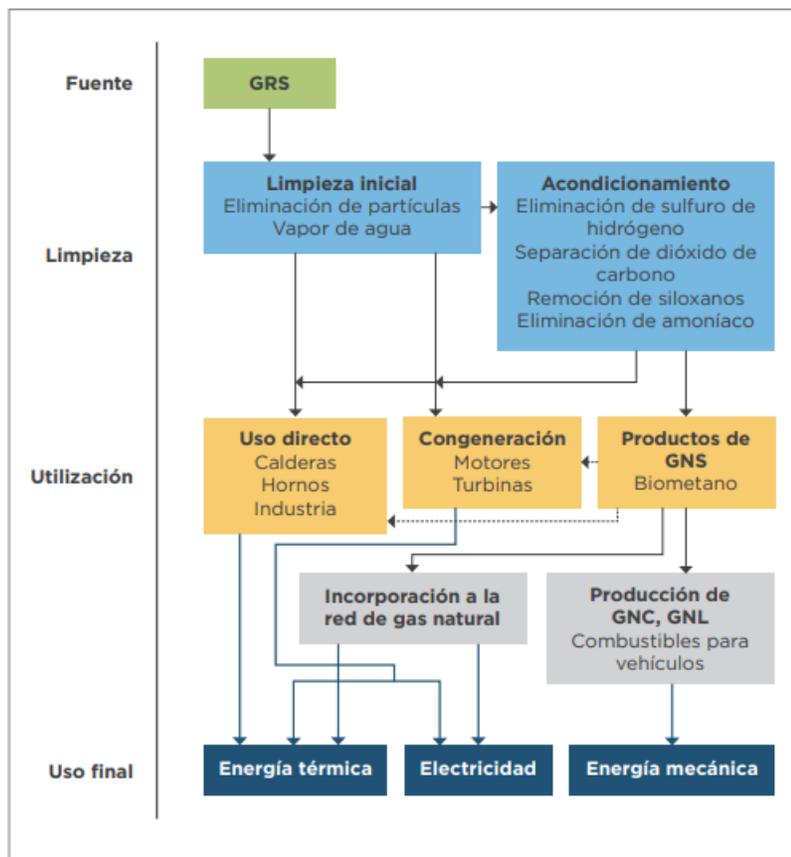
$$n = \frac{E \text{ generada}}{E \text{ suministrada}}$$

Es decir, este parámetro da cuenta de qué tan efectiva es la transformación de la energía proveniente de una fuente (*Esuministrada*) a otros tipos de energía (*Egenerada*), (Carrasco, 2015).

8.4.1 Generación de electricidad y co-generación

El uso de biogás de rellenos sanitarios para la producción de electricidad es una de las aplicaciones más beneficiosas, aunque el resultado del proyecto depende de varios factores entre los que hay que considerar aspectos técnicos, económicos, y de gestión, así como redes eléctricas a la demanda a ser suplida. Según el uso que se hará del biogás se aplican tratamientos primarios que incluyen la remoción de vapor de agua, condensados, material particulado y espuma, o secundarios que remueven sulfuro de hidrógeno, siloxanos, y otros contaminantes como amoníaco, halógenos, e hidrocarburos aromáticos, (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017).

Figura 19. *Tratamientos y usos del biogás.*



Fuente: (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017).

La generación de electricidad a partir de biogás se realiza principalmente con turbinas de vapor o gas o en motores de combustión interna de chispa. Este sistema convencional de generación tiene una baja eficiencia de aproximadamente 35%, por lo que la pérdida de energía es muy alta. Cuando se utilizan sistemas combinados de calor-electricidad (CHP por sus siglas en inglés, Combined Heat and Power) se puede aprovechar de mejor manera la energía proveniente de la combustión del biogás y así tener una mejor eficiencia.

Las tecnologías principales de cogeneración con biogás son la del motor de combustión interna (MCI), la turbina de gas (TG), la turbina de vapor (TV) y las micro turbinas (MT).

Cada una de las tecnologías se basa en la combustión del gas para generar energía mecánica, que puede ser convertida en electricidad, y gases de combustión calientes que pueden ser convertidos en energía térmica utilizable como vapor. En la Tabla 10 se realiza una comparación entre las principales características de los sistemas de cogeneración.

Tabla 10. *Características sistemas de cogeneración.*

Característica	Motor combustión interna (Gas)	Turbina de gas	Micro-turbina
Eficiencia Eléctrica (LHV)	25-45%	25-40% (ciclo simple) 40-60% (ciclo combinado)	20-30%
Rango (MW)	0,05-5	3-200	0,025-0,25
Espacio requerido (m ² /kW)	0,22-0,31	0,02-0,61	0,15-1,5
Costo de instalación (\$/kW)	800-1.500	700-900	500-1.300
Costo y operación y mantenimiento (O&M) (\$/kWh)	0,007-0,015	0,002-0,008	0,002-0,01
Disponibilidad	92-97%	90-98%	90-98%

Hora de puesto a punto	24.000-60.000	30.000-50.000	5.000-40.000
Tiempo de arranque	10 s	10 min – 1h	60 s
Presión de combustible (psi)	1-45	120-500 (puede requerir compresor)	40-100 (puede requerir compresor)
Combustible	Gas natural, biogás, bencina	Gas natural, biogás, bencina, destilado de petróleo	Gas natural, biogás, bencina, destilado de petróleo
Ruido	Moderado a alto	Moderado	Moderado
Uso del calor recuperado	Agua caliente sanitaria, vapor, calefacción	Calor directo, agua caliente sanitaria, vapor de bajo y alto potencial, calefacción	Calor directo, agua caliente, vapor de bajo potencial
CHP Output (Btu/kWh)	1.000-5.000	3.400-12.000	4.000-15.000
Temperatura aprovechable (°F)	150-260	260-595	205-345

Fuente: Autor, 2020.

8.4.2 Selección de la tecnología

Según las especificaciones descritas anteriormente, el criterio de elección de la tecnología a utilizar es el tamaño de planta: para plantas menores a 2 MW se utilizan motores de combustión interna, el cual trabaja con una concentración de biogás del 60%, con bajo costo de inversión en comparación con las otras tecnologías, larga vida útil y poco espacio para su instalación.

8.4.3 Diagrama de proceso

El proceso de producción de biogás contempla cuatro etapas principales: Pretratamiento, Digestión, Post-tratamiento y Uso energético como se muestra en la Figura 20. Luego de exponer

las tecnologías y seleccionar la más apropiada, se procede a explicar cada una de las etapas del diagrama de proceso de aprovechamiento de biogás a energía.

Figura 20. *Esquema de las etapas de producción de biogás.*



Fuente: (Carrasco, 2015).

Tabla 11. Descripción de las etapas del diagrama de bloques del proceso.

Etapa	Descripción	Flujos principales	Equipos principales involucrados
Recepción	Se recibe la materia prima en un tanque de almacenamiento, para dar autonomía de 2 días a la planta de biogás	Entrada y salida: Materia Prima	Tanque de almacenamiento
Molienda y Transporte	Se tritura la materia prima en un molino de martillos y luego se utiliza un tornillo sin fin para su transporte. Sólo se requiere esta etapa si el residuo posee una concentración mayor a 10% en peso de Sólidos Totales o es un residuo con alto contenido de fibra. Si no se cumple alguna de estas condiciones, se considera la recepción y luego la pasteurización.	Entrada y salida: Materia Prima	Molino de martillos y tornillo sin fin.

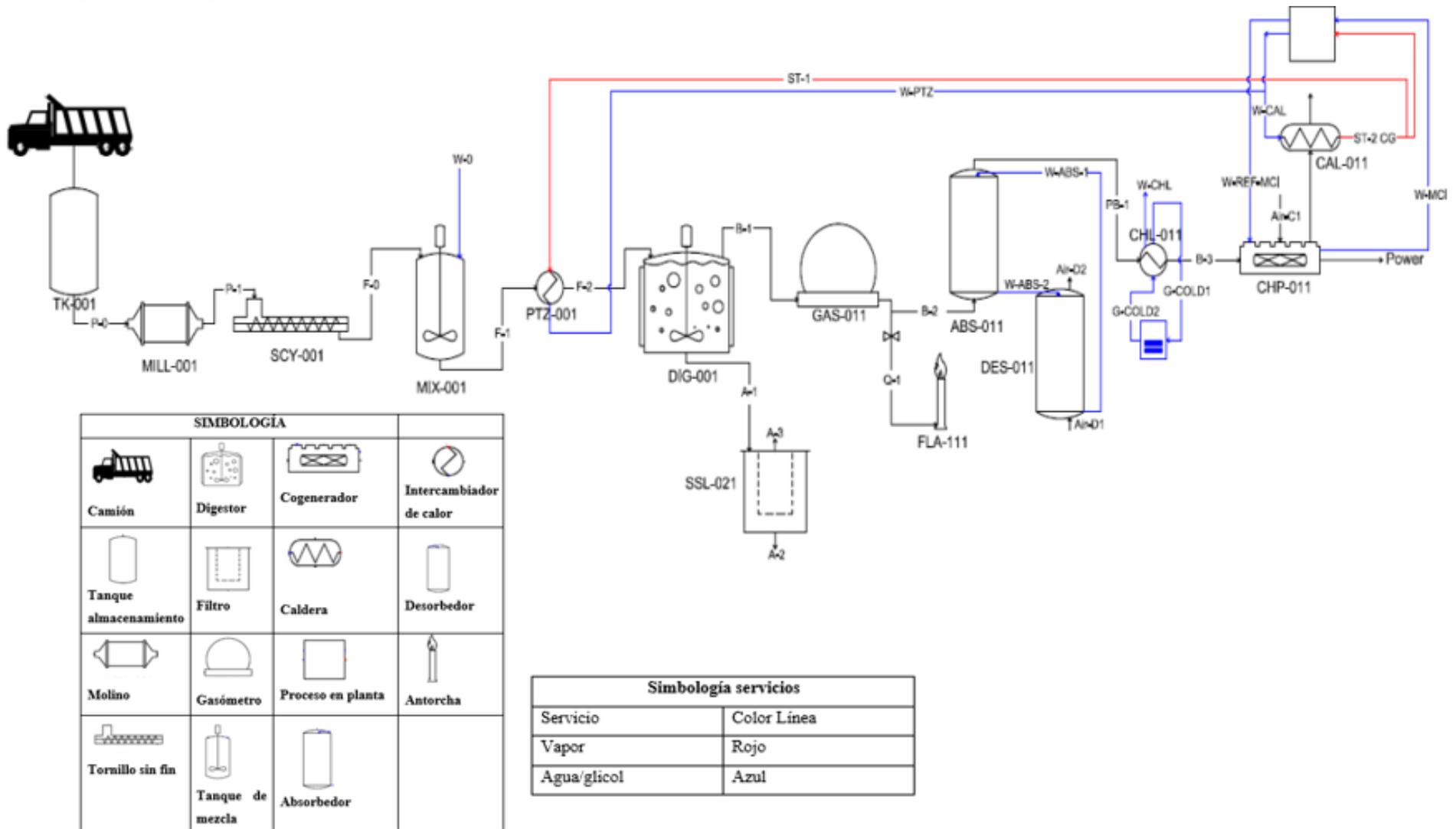
Pasteurización	Se realiza el tratamiento térmico del sustrato en un pasteurizador constituido por dos intercambiadores de placas.	Entrada y salida: Materia Prima	Pasteurizador
Digestión	Se utiliza la tecnología de mezcla completa (CSTR) para la digestión en condiciones anaeróbicas de la materia prima.	Entrada: Materia prima, Salida Digestato y Biogás	Digestor y antorchas
Filtración	Se utiliza un filtro para la separación de la fracción sólida el digestato.	Entrada: Digestato Salida: Digestato concentrado	Filtro de hojas
Compostaje	Se incluye una planta de compostaje por pilas, en caso de ser necesaria la estabilización del digestato concentrado. Esta etapa sólo es considerada en el escenario de evaluación en que no	Entrada: Digestato concentrado Salida: Abono	Planta de compostaje

	<p>se cumplen las condiciones sanitarias para la utilización del digestato como bioabono. Ya que está fuera de los objetivos de este proyecto, sólo se realiza una estimación gruesa de su costo de inversión y operación.</p>		
Absorción	<p>Se utiliza una torre de absorción con agua, en donde se tiene por objetivo disminuir la concentración de ácido sulfhídrico a menos de 100 ppm. También se absorbe dióxido de carbono en el proceso.</p>	<p>Entrada: Biogás contaminado Salida: Biogás purificado</p>	Torre de absorción
Desorción	<p>Se utiliza una torre de desorción, en donde se busca extraer las impurezas en el agua de lavado, proveniente de la</p>	<p>Entrada: Agua contaminada Salidas: Aire y agua purificada</p>	Torre de desorción

	etapa de absorción, utilizando una corriente de aire.		
Enfriamiento	Se utiliza un intercambiador de calor para disminuir la temperatura del gas y así condensar el vapor de agua contenido en el energético.	Entrada: Biogás húmedo Salidas: Agua y Biogás seco	Intercambiador de calor de carcasa y tubos
Cogeneración	Se recibe el biogás tratado y se genera energía térmica y eléctrica. El criterio de elección de la tecnología a utilizar es el tamaño de planta: para plantas mayores a 2 MWe se utilizan turbinas a gas y para tamaños menores se utilizan motores de combustión interna.	Entrada: Biogás y aire Salida: Gases de combustión	Motor de combustión interna

Fuente: (Carrasco, 2015).

Figura 21. Diagrama de flujos de procesos.



Fuente: (Carrasco, 2015)

8.5 La gota de agua

Figura 22. Esquema La Gota de Agua.



Fuente: Universidad El Bosque- adaptado de (Kast & Rosenzweig, 1979).

Tabla 12. Diagnóstico por medio del Esquema La Gota de Agua.

Aspectos de la Gota de Agua	Aprovechamiento de biogás a energía en el relleno sanitario "El Carrasco"
Subsistema Razón de Ser	El proyecto cuenta con misión, visión, valores y objetivos de la organización, en donde se sintetiza la razón de ser de este emprendimiento sostenible. Así mismo, se expone hacia donde se dirige la organización, teniendo en cuenta el servicio que se ofrece, la innovación y las necesidades de los clientes potenciales. También

	se trazan las metas y objetivos estratégicos para lograr con éxito la dirección de la organización.
Subsistema Estructural	<p>La sociedad tiene como sede principal la ciudad de Bucaramanga, puesto que el sector en el cual se adelanta el modelo de negocio se realiza en el relleno sanitario “El Carrasco”, ubicado en esta ciudad y adelanta sus labores para ampliar el servicio en otros rellenos sanitarios.</p> <p>El personal se encuentra organizado de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Junta directiva: constituida por 5 miembros, los cuales tienen un cargo importante para diseñar y coordinar toda la planeación y ejecución de la planta de biogás para generar energía. • Gerente general: es quien desarrolla las políticas y propósitos que se ha trazado con la mayor eficiencia y la dirección de la misma. • Dirección administrativa: la cual se encarga de todo el manejo administrativo tanto en la planeación como en la operación del proyecto. • Dirección técnica: ejecutar la parte técnica de las tecnologías de biogás a energía y además se encarga de la seguridad social de la empresa. • Personal operativo planta: los operarios encargados de la puesta en marcha de la planta y su debida logística y mantenimiento.
Subsistema Psicosocial	No se encuentra estructurado este componente.
Subsistema Tecnológico	La organización cuenta con manuales de procedimientos y guías técnicas en un lenguaje adecuado y de fácil entendimiento para la tecnología que se va a utilizar para aprovechar el biogás en energía.
Subsistema Gerencia y de	La organización desarrollará los procesos administrativos, a través del “Esquema de las Funciones Administrativas” (adaptado de Kast,

<p>proceso administrativo</p>	<p>F., & Rosenzweig, J. (1988). Las cuales son: Planeación, Dirección, Ejecución, Asignación del trabajo y Control.</p>
<p>Entradas</p>	<p>Para operar, se requieren las siguientes entradas:</p> <p>Recursos económicos: Ingresos por comercializar la energía</p> <p>Insumos y Materia prima: Para la prestación del servicio, serán necesarios los insumos de la materia orgánica proveniente de la degradación de los residuos sólidos domiciliarios.</p> <p>Tecnología externa: La planta de biogás se considera como la principal tecnología innovadora para el relleno sanitario.</p> <p>Logística: Manejar el flujo de entrada y salida de información y organizar todas las actividades de planeación y ejecución de la planta.</p> <p>Trabajo Humano: El talento humano es el encargado de brindar calidad en el servicio, el cual constituye un aspecto clave en la operación de la planta y su debido mantenimiento, para optimizar procesos y así hacer más eficientes los procesos.</p>
<p>Salidas</p>	<p>Beneficios ecológicos: Al recuperar el biogás, se reducirían altas toneladas de metano y dióxido de carbono, lo cual ayudaría a la meta establecida dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC, de reducción del 20% de los GEI al año 2030.</p> <p>Beneficios sociales: Las comunidades aledañas al relleno sanitario, en especial los barrios El Porvenir, Dangond, Tejares, Manuela Beltrán y Floridablanca han sido afectados por los malos olores que se generan a diario por la descomposición de los residuos. Es por esto que, al tratar y recuperar estos gases, se mejoraría sus condiciones de salud y por ende su calidad de vida. Además, mejorar la imagen de la EMAB, empresa encargada del relleno, debido a la problemática que ha venido suscitando.</p> <p>Beneficios económicos: La planta de biogás, busca generar ingresos para el relleno sanitario por medio de la comercialización de la</p>

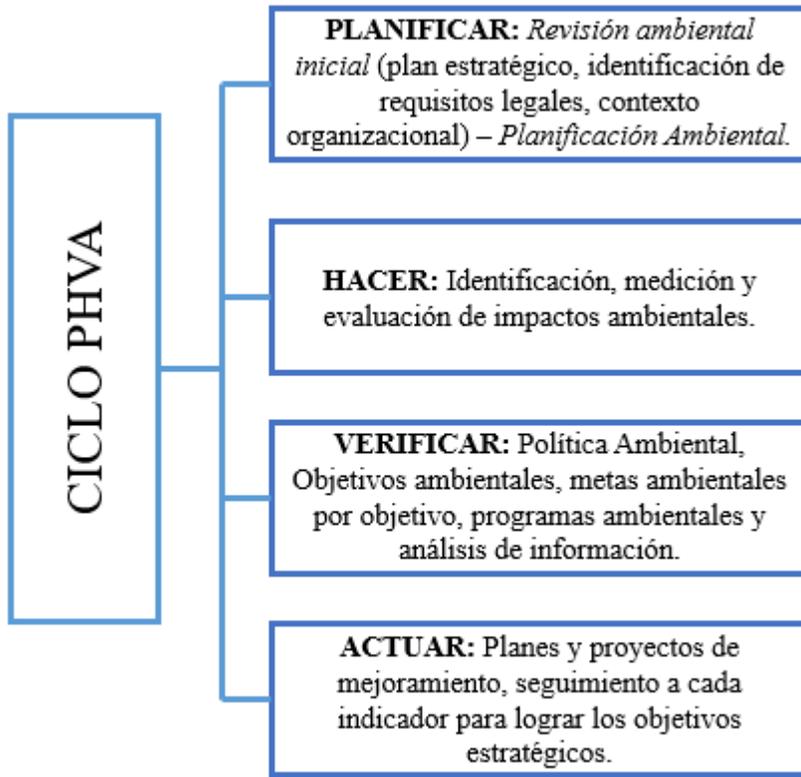
	energía, además de generar empleo y crear una sociedad que se vincule laboralmente y así contribuir al desarrollo de los municipios que depositan sus residuos en este relleno y por consiguiente al desarrollo del departamento.
Entropía	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de las eficiencias teóricamente previstas • Problemas con la limpieza del gas • Dificultades en la integración de procesos • Problemas financieros • Problemas con los equipos

Fuente: Autor, 2020.

8.6 Enfoque PHVA

Se presentan los elementos del ciclo PHVA y una breve descripción para implementar el ciclo dentro de su SGA (Sistema de Gestión Ambiental):

Figura 23. *Ciclo PHVA para SGA.*



Fuente: (Godoy & Matallana, 2013).

Posteriormente, se presenta la siguiente ficha como parte del análisis del ciclo PHVA de la organización.

Tabla 13. Modelo PHVA de la organización.

	SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL		CODIGO:	
			FECHA:	
	ACTIVIDADES (PLANEAR, HACER, VERIFICAR Y ACTUAR)		VERSION:0	
			PAGINA: 1 DE 1	
Actividad	Clasificación			
	P	H	V	A
Establecer los lineamientos estratégicos en la política ambiental.	X			
Identificar legislación ambiental nacional e internacional aplicable al sector de la organización.	X			
Identificación de impactos y determinar cuáles son los aspectos ambientales significativos.	X			
Establecer los requisitos del cliente (legales, servicios, expectativas).	X			
Determinar canales de comunicación con el cliente.	X			
Planteamiento de objetivos y metas ambientales	X			
Definir programas y procedimientos para el cumplimiento de la normatividad.		X		
Realizar capacitaciones que suministren entendimiento y cumplimiento de la legislación vigente.		X		
Generar y mantener una base de datos.		X		
Auditoria interna.			X	
Retroalimentación del cliente.			X	
Evaluación del clima organizacional.			X	
Realizar evaluación periódica del cumplimiento de la normatividad legal.			X	

Realizar actividades correctivas ante las falencias encontradas.				X
Desarrollar y mantener registros de cumplimiento de los requisitos ambientales.				X
Acciones correctivas y preventivas.				X

Fuente: Autor, 2020.

8.7 Análisis de mercado

8.7.1 Análisis del sector y tendencias

La necesidad de mercado nace a raíz de los problemas generados por los gases que se producen en los rellenos sanitarios, esta problemática puede verse solucionada tratando y recuperando los gases en beneficio de las comunidades; convirtiéndose así, en una oportunidad de negocio que genera desarrollo sostenible para los sectores congénitos al entorno sanitario.

Es así que esta problemática, plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles, basura orgánica y plantas), los cuales pueden ser usados como medio para producir energía (biogás). De esta manera se mejorará la vida de las comunidades y se preservará el medio ambiente (Severiche & Acevedo, 2013).

En el mundo se producen aproximadamente 1.600 millones de toneladas por año de residuos sólidos, los cuales generan graves problemas, no solo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores (Severiche & Acevedo, 2013).

Se estima que los servicios de disposición, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos mueven mundialmente un mercado anual de 100.000 millones de dólares, de los cuales 43.000 millones corresponden a Norteamérica, 42.000 millones a la Unión Europea y solo 6.000

millones a Suramérica, siendo la producción de residuos de 250, 200 y 150 millones de toneladas por año respectivamente (Severiche & Acevedo, 2013).

En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27.300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín. Sólo el 40% de los residuos sólidos municipales tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y el 10% es recuperado gracias al reciclaje (Severiche & Acevedo, 2013).

Ahora bien, la energía generada a partir de residuos orgánicos, representa en la actualidad dos tercios de las energías renovables en Europa y se espera que la bioenergía desempeñe un papel clave en la consecución de los ambiciosos objetivos aprobados por la directiva de energías renovables, con la que se pretende abastecer, como mínimo, un 20% de la electricidad generada para el año 2020, cuando actualmente la cuota es del 8,5%, (Martínez, Jurado, Hostalet, & Salmoral, 2011).

8.7.2 Estado del arte

Como se reporta en el Informe sobre Desarrollo Humano del PNUD, el acceso a la energía eléctrica está directamente vinculado a la mejora en la calidad de vida de los habitantes. En ese proyecto, la energía eléctrica producida podría abastecer, según sea el escenario, entre 780 y 6.600 viviendas tipo de cuatro habitantes. El costo de la energía, en caso de darse los escenarios medio y alto, tendría un valor inferior a la Tarifa 8 del Cuadro Tarifario EDESA de 131 US\$/MWh (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017).

Cabe aclarar, que, para la estimación de la producción de electricidad a partir del biogás capturado, se consideraron tres escenarios de baja, media, y alta disponibilidad de metano.

Además, a corto plazo, la instalación de una planta de generación de energía eléctrica requiere de mano de obra capacitada para el diseño, la instalación, puesta en marcha y operación con el fin

de asegurar los estándares de producción que establezcan los contratos de venta y suministro, ya sea a la red eléctrica como a un usuario particular.

La instalación, puesta en marcha y operación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario puede resultar demostrativa para el uso del recurso y la tecnología, abriendo camino para nuevos emprendimientos (Blanco, Santalla, Córdoba, & Levy, 2017).

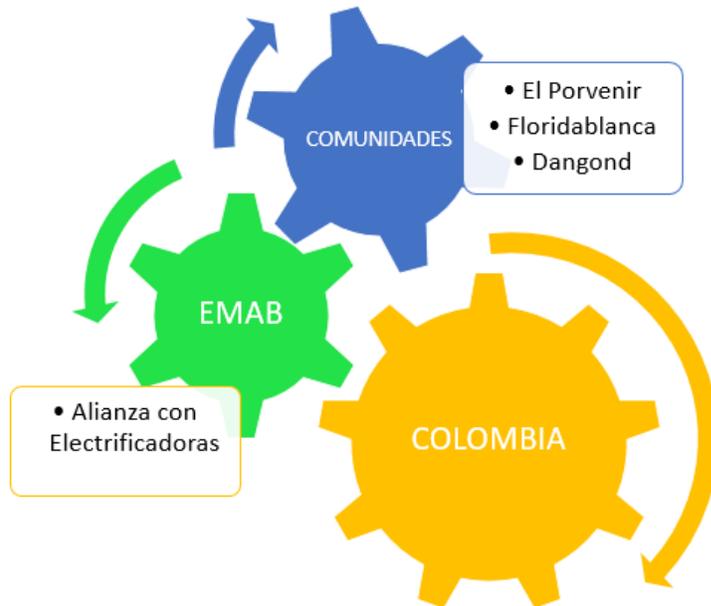
8.7.3 Análisis de la demanda y oferta

8.7.3.1 Demanda

El público objetivo del Core del negocio está dirigido a:

- Sector público: servicio público domiciliario de aseo, el cual se encarga del servicio de recolección de residuos sólidos y de las actividades complementarias como transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final en rellenos sanitarios.
- Sector privado o público enfocado al servicio energético: electrificadoras dedicadas a la prestación de los servicios de energía (generación, distribución, transmisión, comercialización) y actividades conexas.
- Comunidades aledañas a los rellenos sanitarios: conformadas por municipios y barrios.
- País objetivo: Colombia, el cual cuenta con 51 rellenos sanitarios, (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015). Los principales se encuentran en Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Barranquilla, Cúcuta, San Andrés, Santa Marta y Cartagena.

Figura 24. *Público objetivo de la organización.*



*EMAB: Empresa de Aseo de Bucaramanga

Fuente: Autor, 2020.

8.7.3.2 Oferta

A nivel global, Finlandia se destaca por tener la mayor cantidad de plantas (siete en total); Reino Unido, por haber construido la más grande hasta el momento; y Etiopía, por haber tomado la iniciativa en el continente africano con una planta que genera 185 GW/hora.

Mientras que, a nivel regional, Chile ha sido pionero en la generación de biogás a partir del aprovechamiento del 100% de los residuos de vendimia y Colombia, por su parte, ha incursionado en esta empresa con el proyecto biogás Doña Juana.

Se trata de la planta del relleno sanitario de Doña Juana, cuyo objetivo es extraer, tratar y aprovechar el biogás allí generado. Según la Fundación CEDDET y el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), esta planta ya “ha supuesto una reducción de emisiones de 4.382.044 toneladas de CO₂ equivalente y la generación de 2.382.378 kW”.

8.7.3.3 Cuatro Ps of Marketing

Objetivo del proyecto:

Diseñar un modelo de gestión empresarial ambiental para el aprovechamiento del biogás, que permita mitigar los impactos socioambientales producidos en el relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga-Santander, con el fin de aprovechar la producción del biogás.

Producto:

El servicio que se desea ofrecer consiste en un modelo de gestión empresarial para recuperar el biogás y convertirlo en energía y así cubrir la necesidad básica de energía en la población más afectada por los olores ofensivos que genera el biogás.

Dentro de los bienes y/o servicios que se va a ofrecer, se encuentran los siguientes:

- Diagnóstico y asesoría en la identificación de la problemática y tratamiento del biogás.
- Aplicación del (Modelo colombiano de biogás, **US EPA**) para la generación de energía renovable.
- Construcción y operación de la planta de biogás para la generación y distribución de energía.

Por consiguiente, el aporte que este servicio le brindará al cliente serán los siguientes:

- Reducción de gastos en el tratamiento de esta problemática como la disminución de enfermedades y estudios ambientales.
- Disminución de costos en el servicio energético a las comunidades.
- Innovación y desarrollo sostenible para el fortalecimiento de un plan de desarrollo y de manejo ambiental.
- Contribuir a la reducción del impacto ambiental.
- Monetización de idea de negocio sostenible
- Se minimiza la dependencia de recursos energéticos exteriores
- Se crea un valor añadido y monetizable sobre los residuos sólidos

- Certificaciones de calidad como la ISO 9001:2008 – extracción, destrucción térmica, tratamiento y aprovechamiento del biogás; ISO 14001:2004 – extracción, destrucción térmica, tratamiento y aprovechamiento del biogás.

Plaza:

La sede de la empresa se localizará en la ciudad de Bucaramanga, Santander. Los canales de distribución serán medios de comunicación como página web y comunicaciones directa con la empresa de aseo encargada de la operación del relleno sanitario El Carrasco.

Precio:

Proyección de producción:

Se estima un producido en ventas para un 70% de la capacidad instalada.

Tabla 14. *Proyección de producción.*

PRECIO	
Tarifa	\$550/kWh
Potencia	500 kW
Horas funcionamiento	8.200 h
Producción anual (500 kW*8.200 h)	4.100.000 kWh
Total anual	\$ 2.255.000.000 COP

Fuente: Autor, 2020.

La capacidad de generación de Mega Watts versus otras formas de energía ambientalmente amigable es de 8.000 horas/año, lo que lleva a predecir un volumen de ventas significativamente mayor a una posible competencia.

Promoción:

Un factor clave necesario para conseguir el éxito será la implicación de todos los diferentes agentes de un sector tan variado como es el del biogás; es decir, estará el gobierno con sus incentivos, pero también estarán los sectores agrícolas, pecuarios, industriales y residenciales.

El mecanismo de promoción de venta iniciará por una fase de promulgación, que se realizará por medio de la inclusión directa al cliente potencial, es decir, se efectuarán inicialmente seminarios con ponentes internacionales expertos en el sector de bioenergía, así como congresos y/o talleres regionales en los cuales se darán introducciones al sector del biogás y se mostrarán las ventajas de rentabilidad para los involucrados, además de ilustrar e incentivar los importantes beneficios medioambientales.

Una vez superada esta fase inicial, la voz a voz ejercerá su papel en los gremios agroindustriales y sectores de vivienda interesados, y de esta manera cautivar al cliente con demostraciones de funcionamiento del proyecto en pequeña escala y sus proyecciones de acuerdo a las necesidades planteadas por el interesado.

9. Sistema de gestión ambiental de la organización productiva

9.1 Diagnóstico ambiental del relleno sanitario El Carrasco

9.1.1 Disposición de residuos en el predio El Carrasco

El sitio de disposición final El Carrasco, está dividido en tres zonas o cárcavas naturales; según la formulación del Plan de Manejo Ambiental aprobado por CDMB con la resolución 0753 del 13 de agosto de 1998 así:

La cárcava uno, clausurada, se encuentra ubicada en su totalidad en jurisdicción de Bucaramanga, tiene un área de 7 ha, en la que se estima que están enterradas 2.400.000 toneladas de residuos, la cual está compuesta por la zona 1 y la zona 2 (Alcaldía de Bucaramanga, 2016).

La cárcava dos se encuentra ubicada en jurisdicción de Bucaramanga y Girón sobre un drenaje natural de aguas lluvias, conocida como la quebrada El Carrasco, que corresponde al antiguo botadero de Malpaso. Allí, están apiladas 800.000 toneladas de residuos provenientes de Bucaramanga (Alcaldía de Bucaramanga, 2016).

Teniendo en cuenta la información anterior, en El Carrasco se dispusieron 800.000 toneladas provenientes de Bucaramanga a partir del año 1978 hasta 1895, es decir, para cada año se dispusieron cerca de 313 Ton/año, demostrada en la siguiente ecuación.

Ecuación 7. Producción para el municipio de Bucaramanga (1978-1895)

$$Producción = \frac{800.000 \text{ Ton}}{7 \text{ años}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 313 \text{ Ton/día}$$

Para el periodo que comprende los años de 1985 hasta el 2011 se dispusieron 2.400.000 toneladas (Alcaldía de Bucaramanga, 2016), es decir que, en 26 años, se enterraron cerca de 274 Ton/día, como se muestra en la ecuación 8.

Ecuación 7. Producción para el municipio de Bucaramanga (1985-2011)

$$Producción = \frac{2.400.000 \text{ Ton}}{26 \text{ años}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 253 \text{ Ton/día}$$

Posteriormente para el año 2017 se encuentra que su producción es de 546 Ton/día, como se demuestra en la siguiente tabla.

Tabla 15. Producción de Bucaramanga.

AÑO	PRODUCCIÓN (Ton/día)	PPC (KG/HABITANTE-DÍA)
1978 - 1985	313	0,77
1985 - 2011	253	0,48

2017	564	1,74
------	-----	------

Fuente: Autor, 2020.

A continuación, se muestra el contexto histórico de la disposición de manera detallada.

Tabla 16. *Relación de disposición de residuos en el predio El Carrasco.*

ZONA DE DISPOSICIÓN	PERIODO DE OPERACIÓN
Antiguo botadero (incluye la actual Celda 4 Cárcava 2 – Fase 1)	1978 – 1985
Cárcava 1 – Zona 1	1985 – 2005
Cárcava 1 – Zona 2	2006 – 2011
Zona ZEM (Zona de Extracción de Material)	2009 – 2011
Celda 2	2012
Celda 3 – Zona 1 (Celda 3.1)	2013
Celda 3 – Zona 2 (Celda 3.2)	2013
Celda 1	2013 – 2015
Celda 1 – Domo	2016
Celda 4 – Cárcava 2 (Fase 2)	2016 – 2018
Zona de Contingencia (hace parte de la Celda 1 y contigua a la Zona ZEM)	3 de octubre de 2018 – mediados de enero de 2019
Celda de respaldo 1	Mediados de enero de 2019 - actualidad

Fuente: (EMAB, 2019).

De acuerdo con lo anterior a continuación se presenta figuras suministrado por la EMAB, en donde se muestran las celdas de disposición final.

Figura 25. Celdas de disposición final de residuos “El Carrasco”.



Fuente: (EMAB, 2019).

El Carrasco, está catalogado como relleno sanitario mecanizado, dado que genera 900 Ton/día (Flórez, 2018); para este tipo de relleno se requiere equipos especializados como: 2 buldóceres, uno tipo D7H y otro D8N, 3 retroexcavadoras de 20 toneladas, un retrocargador, un carrotanque, una motoniveladora, un vibro-compactador y 2 volquetas, (EMAB, 2018).

Este relleno se considera regional conforme que recibe los residuos sólidos generados en los municipios cercanos al sitio de disposición final, los cuales son: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Betulia, Rionegro, Lebrija, Suratá, Charta, California, Matanza, El Playón, Tona, Los Santos, Santa Bárbara y Zapatoca, (Alcaldía de Bucaramanga, 2016).

El predio del Carrasco comprende una extensión de 94 hectáreas, en donde se desarrollan todas las actividades asociadas a la disposición final de residuos, desde el pesaje de los vehículos recolectores, tratamiento de lixiviados, fuentes de material de cobertura y zona de disposición, (López & García, 2006).

Por otra parte, el área de influencia ambiental, corresponde a los sectores cercanos o que, por efectos del comportamiento de las condiciones meteorológicas, especialmente la velocidad, dirección del viento y la temperatura, tenga incidencia en el arrastre de partículas u olores ofensivos que se generan en el área de influencia directa; delimitada con un radio de 2 km. Las viviendas se localizan en el sector oriental del área de influencia ambiental del proyecto en el municipio de Bucaramanga, correspondiente a los barrios El Porvenir, Dangond, Tejares y Manuela Beltrán, (Contreras, 2012).

El cubrimiento diario de las celdas en este relleno según informe de la EMAB, se realiza una cobertura diaria con material granular y sintética (lona negro-verde).

9.1.2 Composición química

A partir de una muestra de 15 kg de residuos se arrojan los siguientes resultados.

Tabla 17. *Composición química de los residuos sólidos.*

PARÁMETRO	UNIDADES	BASE HÚMEDA	BASE SECA
Peso específico	kg/dm ³	0,4221	0,2221
Humedad	%	47,38	No presenta resultado
Carbono	%	23,27	44,21
Hidrógeno	%	3,04	5,78
Oxígeno	%	16,40	31,16
Nitrógeno	%	0,35	0,66
Azufre	%	0,04	0,08

Fuente: (Singep, 2017).

9.1.3 Composición física

La composición física de los residuos sólidos municipales en una región está caracterizada por su alto porcentaje de materia orgánica (entre 50 y 70% del total de residuos), lo que se traduce en un mayor contenido de humedad con valores que fluctúan entre 35 y 55%; el resto es papel, cartón, vidrio, metales, plásticos y material inerte, entre otros, (Jaramillo, 2002).

Los residuos sólidos se agrupan por categorías, de acuerdo a sus propiedades o posibilidades de tratamiento y disposición final tales como:

- a) Residuos con características físicas de biotransformación: Residuos orgánicos provenientes de actividades domésticas o industriales susceptibles de descomponerse biológicamente y que constituyen sustrato para producción de bioabono tales como compostaje, lombricultura, etc.

- b) Residuos con propiedades físicas para reciclaje: Residuos que por sus características físicas se pueden reutilizar o pueden servir como materia prima en procesos productivos para la elaboración de nuevos productos.
- c) Residuos con características físicas de escombrera: Residuos inertes provenientes de la construcción de vías, viviendas o excavaciones generales cuyo destino o uso final corresponde a depósitos de suelo, agregados, concretos, pavimento, etc.
- d) Residuos con características físicas para disposición directa en el relleno sanitario (no recuperables): Residuos con mínima posibilidad de aprovechamiento por su grado de contaminación o mezcla con otros materiales que ocasiona costos altos para su aprovechamiento. Tales residuos son llantas, papeles pequeños sucios, plásticos no reciclables, etc.
- e) Residuos con características físicas de incineración: Estos residuos corresponden en general a los residuos patógenos especialmente a los provenientes de hospitales y centros médicos.

(López & García, 2006).

A continuación, se presenta la caracterización de los residuos sólidos en el sitio de disposición final El Carrasco.

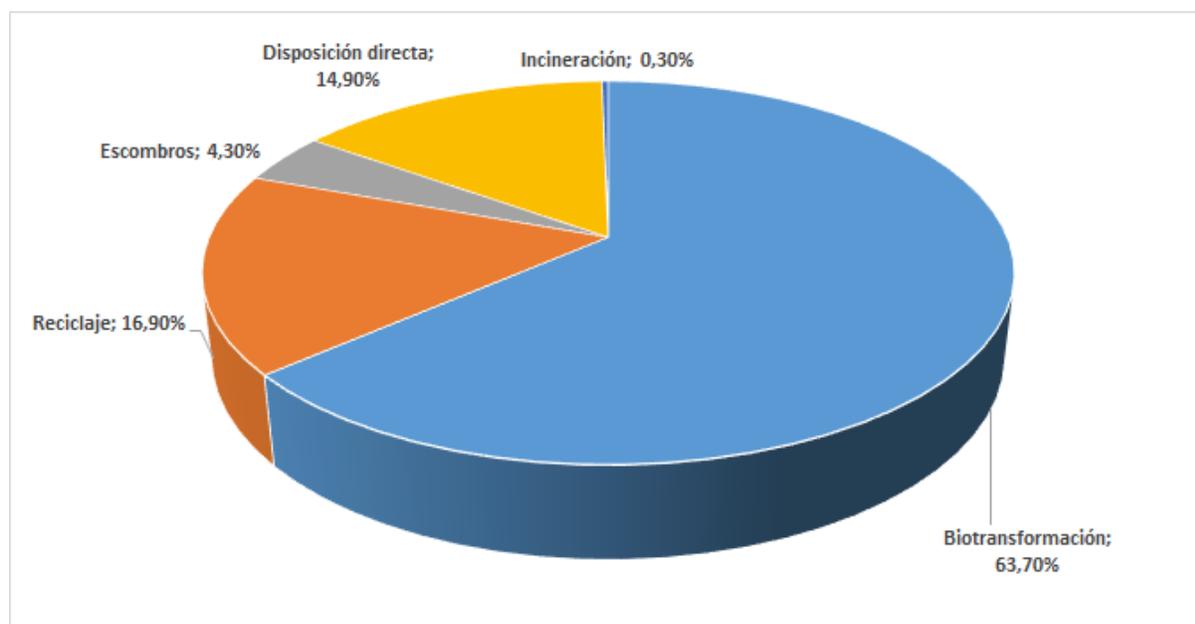
Tabla 18. *Composición física de los residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco para el año 2016.*

RESIDUOS CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BIOTRANSFORMACIÓN	%
Residuos de comida	50,3
Papel y cartón sucios o pequeños	0,2
Madera forestales aserrín	7,8
Carbón cenizas escorias	2,5
Pañales desechables, toallas higiénicas, etc.	2,9
Hueso, vísceras, cueros	0

RESIDUOS CON PROPIEDADES FÍSICAS PARA RECICLAJE	%
Plásticos envases	2,3
Plásticos laminados	4
Plásticos expandidos desechables	0,5
Cartón y papel	4,1
Textiles	2,1
Vidrio	1,3
Zapatos	1,5
Metales ferrosos chatarras	0,7
Aluminio	0,1
RESIDUOS CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ESCOMBRERA	%
Escombros	4,3
RESIDUOS CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PARA DISPOSICIÓN DIRECTA	%
Llantas, cauchos	1,4
Especiales, baterías, teléfonos, etc.	0,1
Plásticos no reciclables	0,9
Papel pequeño sucio	3,1
Textiles no reciclables	3,6
Cueros industriales	4,2
Plásticos expandidos desechables	0,1
Otros	1,5
RESIDUOS CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE INCINERACIÓN	%
Otros hospitalarios	0,2
Patógenos, hospitalarios	0,1
TOTAL	100%

Fuente: (Alcaldía de Bucaramanga, 2016).

Figura 26. Distribución de los residuos según sus propiedades o posibilidades de tratamiento y disposición final.



Fuente: Autor, 2020 a partir del PGIRS realizado en el año 2016.

Por otra parte, se presenta la caracterización de los residuos sólidos en el sitio de disposición final El Carrasco, el cual ha sido realizado por la EMAB.

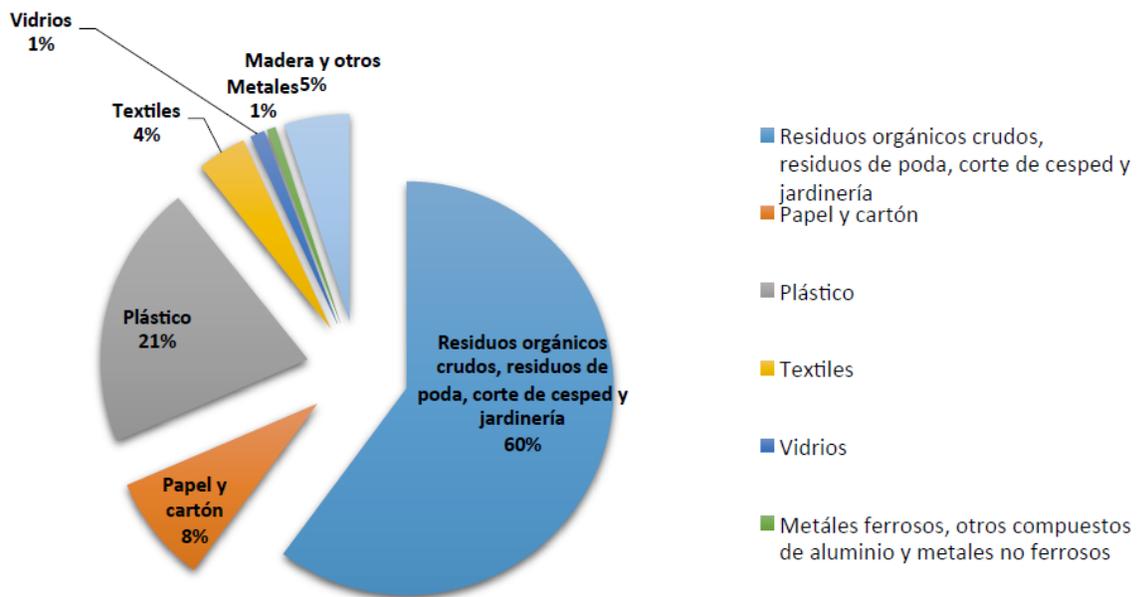
Tabla 19. Composición física de los residuos sólidos en el relleno sanitario El Carrasco para el año 2017.

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE MUESTREOS		
TIPO DE RESIDUO	TOTAL PESO (Kg)	PORCENTAJE (%)
Residuos orgánicos crudos, residuos de poda, corte de césped y jardinería	933,0	60%
Papel y cartón	183,3	8%
Plásticos	341,1	21%

Textiles	63,3	4%
Vidrios	18,7	1%
Metales ferrosos, otros compuestos de aluminio y metales no ferrosos	11,3	1%
Madera, caucho, cuero, ceniza, huesos, escombros, y otros	84,0	5%
TOTAL MUESTRAS	1.650	100%

Fuente: (Singep, 2017).

Figura 27. Composición estimada de residuos que ingresan al relleno El Carrasco para el año 2017.



Fuente: (Singep, 2017).

Es importante aclarar que los datos registrados en el PGIRS se encuentran de manera detallada y contemplando diferentes categorías que no se evidencian en el estudio del 2017, ya que este se realizó de manera general haciendo que se encuentren variaciones de uno con respecto al otro.

9.1.4 Producción y composición de los residuos

Según el Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos realizado en el año 2017, el relleno recibe una cantidad de residuos sólidos de 30.874,6 toneladas mensuales y 1.030 toneladas al día, (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Tabla 20. Producción de residuos y Producción Per Cápita de los municipios atendidos por la EMAB.

Nº	MUNICIPIOS	POBLACIÓN N 2017	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS (Ton/día)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (KG/HABITANTE- DÍA)
1	Bucaramanga	528.575	564,28	1,07
2	Floridablanca	266.669	212,1	0,80
3	Piedecuesta	156.167	91,35	0,58
4	Girón	190.283	124,01	0,65
5	Betulia	5.061	1,540	0,30
6	Rionegro	26.680	4,750	0,18
7	Lebrija	40.252	17,18	0,43
8	Suratá	3.225	0,37	0,11
9	Charta	2.592	0,29	0,11
10	California	2.020	0,51	0,25
11	Matanza	5.201	0,53	0,10

12	El Playón	11.520	4,36	0,38
13	Tona	7.168	1,54	0,21
14	Los Santos	12.423	3,5	0,28
15	Santa Bárbara	2.100	0,15	0,07
16	Zapatoca	8.847	4,15	0,47
TOTAL			1030,61	

Fuente: Autor,2020 a partir de los cálculos realizados con los datos obtenidos por la (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Igualmente, la cantidad total de los residuos que son generados por una población, permite establecer la caracterización de los residuos en la cual se establece la composición de cada uno de ellos, enunciados a continuación para cada municipio correspondiente del relleno sanitario El Carrasco.

9.1.4.1 Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB): Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta

Tabla 21. Caracterización de los residuos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

COMPOSICIÓN	AMB (2012)	
	%	Ton/año
Orgánicos (residuos de alimentos, jardín, madera, plumas)	53,3	147.398
Otros	13,1	36.246
Plástico bolsas	7,7	21.332
Papel y cartón	6,1	16.948
Sanitario (papel higiénico, pañales, toallas higiénicas)	5,2	14.431

Pasta	4,3	11.973
Materiales textiles	3,3	9.218
Vidrio	2,3	6.437
Barrido de calles	2,1	5.838
Chatarra, metales	1,3	3.672
Cuero, gomas corchos	0,8	2.342
Residuos de construcción	0,2	449
Residuos de poda y jardinería	0,1	169
Residuos peligrosos	0,0	29
TOTAL AMB	100%	276.482

Fuente: (Concejo Municipal de Bucaramanga, 2012).

9.1.4.2 Betulia

Tabla 22. Caracterización física de los residuos en el municipio de Betulia.

MATERIAL	Kg	% PESO
Orgánico (residuos orgánicos de cocina, material vegetal)	5,32	39,67
Plástico y PET (plástico rígido, de película, envase de agua)	1,72	12,83
Vidrio (vidrio de color y transparente)	0,34	2,54
Papel y Cartón (cartón, envase de cartón- tetra pack y papel)	2,1	15,66
Residuos Tóxicos (pañal desechables, toallas sanitarias, baterías, envases de aerosoles, etc)	1,84	13,72

Textiles (algodón, fibras sintéticas)	2,09	15,59
Especiales (llantas, colchones, línea blanca, baterías, luminarias, aparatos electrónicos)	0,83	6,19
TOTAL	13,41	100,00

Fuente: (Alcaldía Municipal de Betulia, 2017).

9.1.4.3 Rionegro

No presenta datos

9.1.4.4 Lebrija

Tabla 23. *Caracterización de residuos del municipio de Lebrija, Santander.*

TIPO DE RESIDUOS	ÁREA URBANA	
	Kg	% PESO
Residuos orgánicos crudos	0,86	23,6
Residuos de comida	1,1	30,1
Residuos de jardín	0,19	5,2
Productos de papel	0,27	7,4
Productos de cartón	0,19	5,2
Plástico	0,49	13,4
Metales ferrosos, aluminio y otros metales	0,11	3,0
Vidrio	0,19	5,2
Textiles	0,1	2,7
Madera	0,11	3,0

Otros (inservibles)	0,04	1,1
TOTAL	3,65	100,00

Fuente: (Alcaldía Municipal de Lebrija, 2016).

9.1.4.5 Suratá

Tabla 24. Características de los residuos en el municipio de Suratá, Santander.

ELEMENTOS	Kg/mes
Residuos orgánicos	14.930
Papel	497
Cartón	250
Plástico	484
Vidrio	505
Metal	156
Residuos sanitarios	1.900
TOTAL	19.086

Fuente: (Alcaldía Municipal de Suratá, 2012).

9.1.4.6 Charta

Tabla 25. Tipo y peso de los residuos en el municipio de Charta, Santander.

TIPO DE RESIDUO	(Ton/mes)
Orgánicos	2,5
Vidrio	1,4
Cartón - Papel	1,3
Tela	0,3

Plástico	2
Metal	0,2
Sanitario	0,6
TOTAL	8,3

Fuente: (Alcaldía Municipal de Charta, 2012).

9.1.4.7 California

Tabla 26. *Caracterización de los residuos sólidos en la fuente en el municipio de California, Santander.*

TIPO DE RESIDUO	% PESO
Orgánicos	61,38
Plásticos	9,94
Papel	2,95
Cartón	3,37
Vidrio	2,14
Metales	0,96
Otros	7,09
Sanitarios	12,17

Fuente: (Alcaldía Municipal de California, 2016).

9.1.4.8 Matanza

El municipio de Matanza no cuenta con un programa de manejo integral de residuos sólidos; actualmente se hace la recolección de los residuos en una volqueta de propiedad del municipio y llevados al Carrasco en el municipio de Bucaramanga, (Alcaldía de Matanza, 2016).

9.1.4.9 El Playón

No registra datos

9.1.4.10 Tona

Tabla 27. *Composición de residuos cabecera municipal municipio de Tona, Santander.*

COMPONENTES		
ORGÁNICOS	PESO Kg	PORCENTA JE
Residuos comida	43	40,76
Papel	10,5	9,95
Empaques de plástico	18	17,06
Botellas plásticas PET	0,5	0,47
Cartón	1	0,95
Residuos sanitarios	9,5	9,00
Caucho y cuero	0	0,00
R. jardín	0,5	0,47
Huesos	0	0,00
Madera	1	0,95
Empaques de golosinas	3,5	3,32
Textil, tela	12	11,37
INORGÁNICOS	PESO KG	PORCENTA JE
Vidrios	1	0,95
Metales	1	0,95

Aluminio	0	0,00
Productos cerámicos, ceniza, rocas y escombros	3	2,84
Icopor	1	0,95
TOTALES	105,5	100,00

Fuente: (Alcaldía Municipal de Tona, 2016).

9.1.4.11 Los Santos

No registra datos

9.1.4.12 Santa Bárbara

No registra datos

9.1.4.13 Zapatoca

Los residuos sólidos que se desechan en el municipio son conducidos al relleno Sanitario del área Metropolitana “El Carrasco” ya que el municipio no cuenta con un sitio para la disposición final de las basuras, además este municipio no cuenta con un PGIRS.

9.1.5 Planta de Tratamiento de Lixiviados

Para el manejo de lixiviados la EMAB, mediante contrato de operación y mantenimiento adjudicado a la firma Consorcio Gestión Sostenible, adquirió y puso en marcha desde el mes de febrero de 2016, una planta de tratamiento de lixiviados, la cual consiste en dos etapas: sistema de filtración con membrana (dtro) y ósmosis inversa, (ANLA, 2018).

Figura 28. Esquema Planta de Tratamiento de Lixiviados PTLX.



Fuente: (Torrado & Rondón, s.f).

El primer paso en la planta es el sistema de pondajes; este cuenta con dos lagunas de 3.500 m^3 (aproximadamente) de capacidad de almacenamiento, en el cual el lixiviado originario de las

diferentes celdas del relleno es homogeneizado y almacenado. Luego, es conducido por gravedad hasta un pozo de recepción con capacidad de almacenamiento de 5 m³, (ANLA, 2018).

En esta planta, se realiza un proceso físico químico como etapa inicial, mediante un tamiz rotativo automático el cual detecta cuando entra un caudal. Los materiales extraídos del tamiz se vierten al tanque de lodos, evitando taponamientos de los sistemas de bombeo, (ANLA, 2018).

El procedimiento físico químico sigue con la entrada a un sistema de flotación de aire disuelto DAF, en el cual el lixiviado se almacena para aplicar el coagulante, generando un lodo que es dirigido a un compartimiento, separándolo así del agua clarificada. El clarificado inicia un proceso de filtración convencional (arenas) que posteriormente pasa a una microfiltración, que conduce el agua a un tanque de almacenamiento de 20 m³, (ANLA, 2018).

Por otra parte, los lodos tratados anteriormente con cal y polímeros, son prensados a una presión de 2.500 psi, separando lodo deshidratado que se dispone en el relleno sanitario y agua que vuelve al sistema de tratamiento, (ANLA, 2018).

Retomando nuevamente, luego de la microfiltración, el agua ingresa a un equipo de ósmosis inversa por el sistema de discos tubulares para luego pasar a un sistema de osmosis inversa con membranas transversales, que permiten que el efluente sea dispuesto en el riego de vías del relleno sanitario o sobre la quebrada El Carrasco, (ANLA, 2018).

9.1.5.1 Manejo de lixiviados

De acuerdo al informe 37 de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Lixiviados (PTLX), se reportan los resultados del análisis de laboratorio en donde se mide el afluente y efluente en el sitio de disposición final El Carrasco; en este se efectuó el estudio de las propiedades físicas y químicas del lixiviado tales como: pH, sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos sedimentables (SSED), alcalinidad, entre otras.

Tabla 28. Resultados del monitoreo del mes de enero de 2019 en la PTLX con los parámetros exigidos por la norma ambiental vigente. RESOLUCIÓN 0631 DE 2015.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR MAX. SEGÚN RES. 0631 DE 2015	LIXIVIA DO AFLUENTE	EFLUENTE (VERTIMIENTO)	CUMPL E	REMOCIÓN (%)
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	7,71	7,12	X	
DQO	mg/L O ₂	2.000	32.754	<10	X	99,96
DBO ₅	mg/L O ₂	800	11.019	4,38	X	99,95
SST	mg/L	400	2.612	9,4	X	99,54
SSED	ml/L	5	69,00	<0,1	X	99,81
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	11.084	183		97,89
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	>1.000	<3,00		99,62

Fuente: (EMAB, 2019).

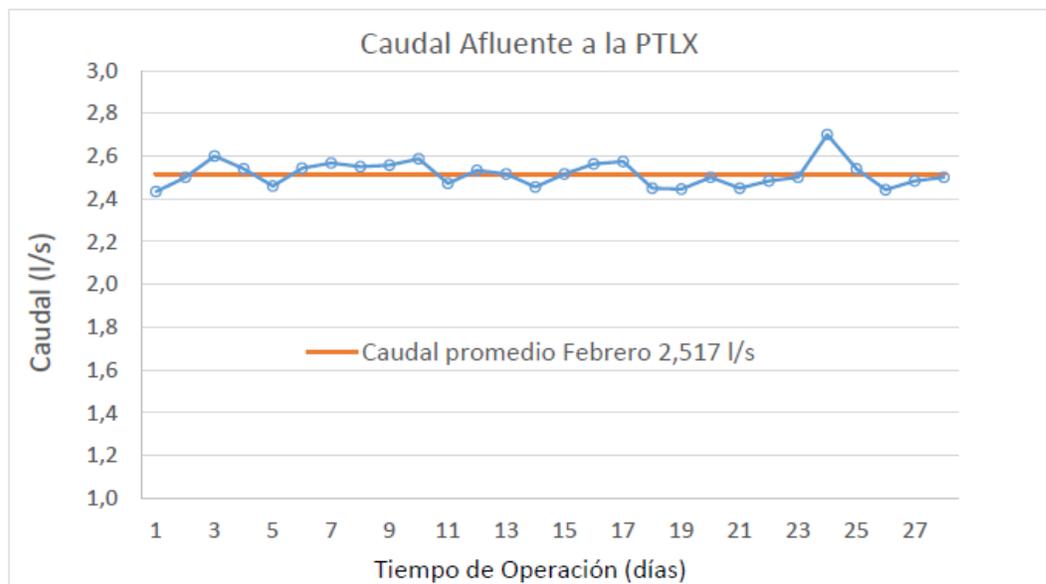
En la entrada del sistema se encontró una alcalinidad alta que resultó coherente con el pH, así mismo el valor de dureza obtenido permitió clasificar el agua como “Muy Dura” principalmente por la presencia de calcio como lo evidencia la concentración obtenida por la dureza cálcica que

reporta los mismos datos de la dureza total. En contraparte al efluente de la PTLX, se encontró una disminución relevante de las concentraciones de estos parámetros, (EMAB, 2019).

En cuanto a los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables, registraron en la salida concentraciones inferiores a los límites de los métodos analíticos empleados por el laboratorio, denotando una remoción eficiente de estos parámetros. La DQO y DBO_5 en la entrada del sistema reportaron concentraciones de, 32.754 y 11.019 mg/L respectivamente, las cuales disminuyeron drásticamente, <10 y 4,38 mg/L respectivamente, posterior al tratamiento, denotando condiciones operativas adecuadas en el sistema de tratamiento, (EMAB, 2019).

Según el registro diario del caudal afluente de la PTLX para determinar el lixiviado generado por el relleno sanitario el Carrasco, el caudal de operación de la planta en febrero de 2019 osciló en un rango de 2,44 a 2,7 L/s, siendo el caudal promedio aproximadamente 2,517 l/s. Teniendo en cuenta estos valores, el volumen total de lixiviado tratado en este periodo en la planta fue de aproximadamente 6.666 m³, (EMAB, 2019).

Figura 29. Caudal promedio afluente a la PTLX para el periodo de febrero de 2019.



Fuente: (EMAB, 2019).

9.1.6 Manejo de gases

Los gases producto de la descomposición de los residuos sólidos, salen por las chimeneas, las cuales se encuentran distribuidas en diferentes sectores de la celda 1, celda de disposición para el año 2018 (PGIRS). Estas chimeneas fueron instaladas cada 50 m, interconectadas entre sí, con la finalidad de garantizar una mayor eficiencia en el drenaje de lixiviados y permitiendo el flujo del gas de forma vertical entre niveles, (EMAB, 2018).

Figura 30. *Chimenea de gas en la celda 1.*



Fuente: (EMAB, 2018).

En general el tratamiento o manejo de gases y olores consiste en realzar chimeneas para quemar el gas (principalmente dióxido de carbono y metano), este proceso se logra a partir de la construcción de gaviones, utilizando mallas de 1m x 1m x 1m, piedra bola de 4 a 10 pulgadas, tubería perforada HDPE y geotextil para evitar la colmatación de la chimenea, (EMAB, 2018).

El flujo volumétrico estándar seco de salida del gas se efectúa bajo las consideraciones y la ecuación establecida por el método de determinación de velocidad y caudal del gas de chimenea (US EPA)

Ecuación 8. Determinación de velocidad promedio del gas

$$V_s = K_p * C_p * \sqrt{\frac{T_s}{P_s * M_s}} * \sqrt{\frac{\sum \Delta P_i}{N}}$$

Donde:

V_s = Velocidad promedio del gas de chimenea

K_p = Constante

T_s = Temperatura absoluta media en la chimenea

C_p = Coeficiente de tubo pilot

ΔP_i = Cabenza de velocidad de gas chimenea en cada punto

P_s = Presión absoluta de chimenea

M_s = Peso molecular del gas de chimenea en base húmeda

N = Número de puntos de toma πr^2

Ecuación 9. Flujo volumétrico estándar seco

$$Q_{est} = 1000 (1 - B_{ws})(V_s)(A_s) \left(\frac{T_{est}}{T_{chim prom}} \right) \left(\frac{P_{chim}}{P_{est}} \right)$$

Donde:

Q_{est} = Flujo volumétrico estándar seco $\frac{l}{s}$

B_{ws} = Humedad del gas en fracción

V_s = Velocidad promedio del gas en $\frac{m}{s}$

A_s = Área del ducto en m

T_{est} = Temperatura estándar (298k)

$T_{chim prom}$ = temperatura del ducto en K

P_{chim} = Presión absoluta del ducto en mmHg

P_{est} = Presión estándar (760 mmHg)

El monitoreo de biogás para el sitio de disposición final El Carrasco, se implementó mediante unas directrices para cumplir con los requisitos exigidos por la autoridad ambiental, se establecieron puntos de muestreo para realizar las respectivas mediciones con el equipo GAS-PRO Monitor de Gases Múltiples- CROWCON, el cual fue verificado y calibrado, (Flórez, 2018).

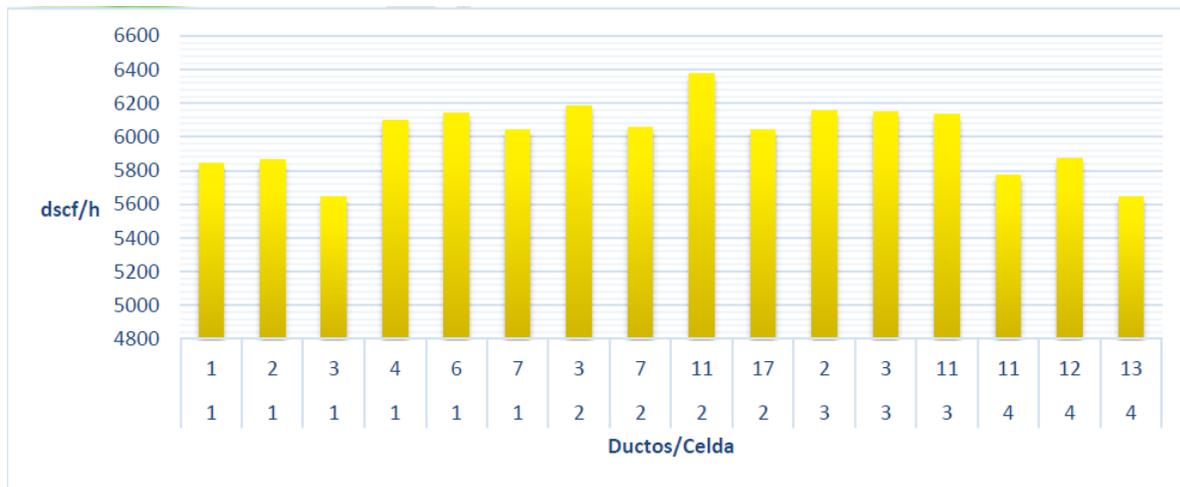
Para la determinación del caudal de los ductos establecidos en las diferentes celdas (1,2 y 4) se utilizó el parámetro Dry Standard Volumetric Flow Rate (dscf/h), (Pies cúbicos secos por hora en condiciones estándar), en el cual los valores de los ductos por cada celda se encuentran registrados en la Tabla 29, cabe resaltar que se evaluaron más ductos, pero el informe realizado la EMAB sólo reporta los siguientes.

Tabla 29. Consolidados caudales.

PARÁMETRO	UNIDADES	CELDA 1					
		Ducto 1	Ducto 2	Ducto 3	Ducto 4	Ducto 6	Ducto 7
Dry Standard Volumetric Flow Rate	dscf/h	5.841	5.863	5.645	6.102	6.145	6.044
		CELDA 2					
		Ducto 3	Ducto 7	Ducto 11	Ducto 17		
		6.187	6.059	6.374	6.041		
		CELDA 4					
		Ducto 2	Ducto 3	Ducto 11	Ducto 12	Ducto 13	
		6.155	6.149	6.132	5.874	5.644	

Fuente: (Flórez, 2018).

Figura 31. Caudales registrados en los ductos.



Fuente: (Flórez, 2018).

9.1.7 Componente Geológico

Los contaminantes contenidos en los lixiviados son conducidos por los estratos con mayor conductividad hidráulica correspondientes a las unidades geoelectricas IV, V y VI del SEV-2 (sondeos eléctricos verticales), ubicadas por debajo de los 14,0 m de profundidad a los cuales se localiza posiblemente el nivel freático, altamente intervenido por lixiviados debido a las condiciones de saturación, lo cual indica afectación ambiental por carga contaminante en las unidades geológicas localizadas en la celda 4 de la Cárcava 2, (Niño, Ramón, & Ramón, 2016).

El primer punto fue localizado en la zona clausurada, en donde a partir del año 1985 se inició el proceso de posclausura; en el perfil estratigráfico se observa el predominio intercalado por capas de material areno-arcilloso y gravas, con capas de residuos sólidos (capas III, IV, V); se evidencia que la unidad geoelectrica VI está constituida por capas entre gruesas y muy gruesas de variable espesor; texturalmente se trata de una grava de matriz grano, con esfericidad baja a media, y mal calibrada. Presenta feldspatos alterados, en los niveles medios, y arcillas compactas arenosas ligeramente micáceas con trazas de materia orgánica, (Niño, Ramón, & Ramón, 2016).

Además de las capas de residuos sólidos, se encontraron estratos alternados con material arenoso-arcilloso, a partir de una profundidad de 3,10 m en el SEV 2, en donde se disminuye notoriamente la resistividad, lo cual indica la función original de las arenas arcillosas que se constituyen como una barrera del paso de los lixiviados, (Niño, Ramón, & Ramón, 2016).

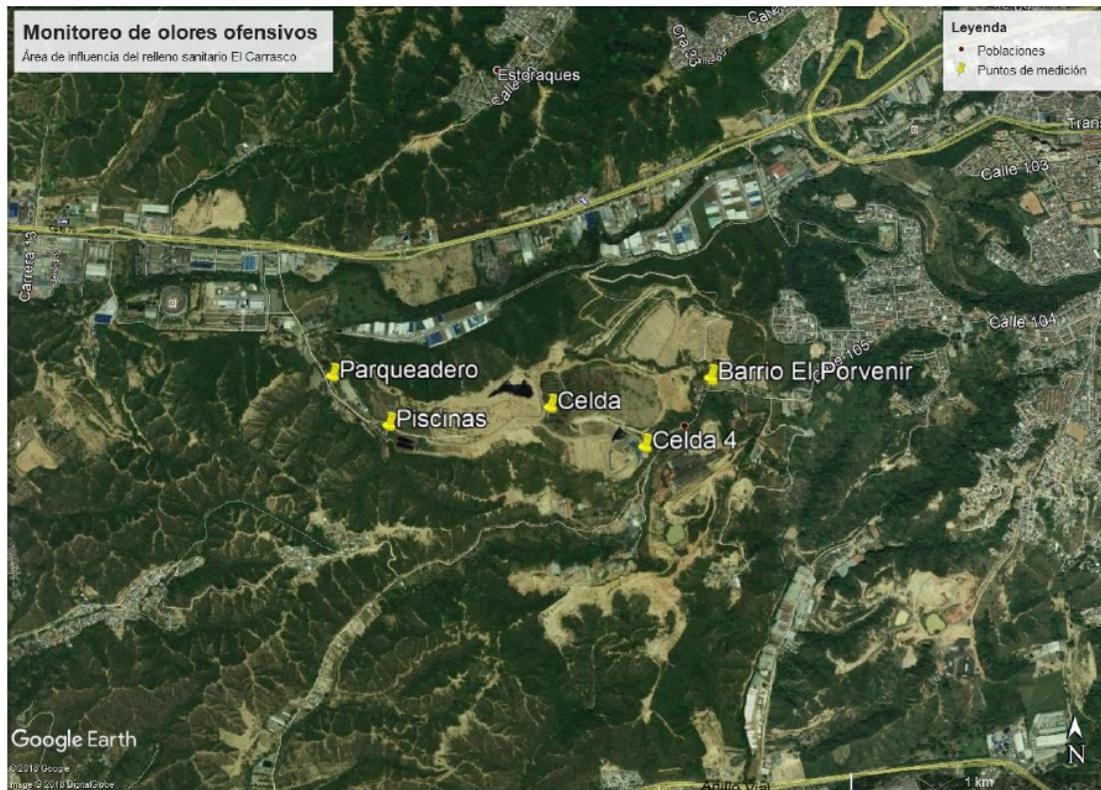
El SEV 1 fue hecho en la parte superior del sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco, punto estratégico ubicado por la importancia de la zona clausurada; en esta unidad geoelectrica, la resistividad es de 91 Ohm-m, y teniendo en cuenta que la resistividad general para arcillas mezcladas con arena y/o grava es de 100 a 1000 Ohm-m, se puede concluir que el valor generado de 91 Ohm-m es acorde con la etapa de clausura de la celda que fue utilizada para la disposición de residuos (a cielo abierto) entre 1977 y 1985, (Niño, Ramón, & Ramón, 2016).

En el área establecida para el SEV 2, se ubica en el centro de la celda que el día 11 de agosto, fecha que se realizó el sondeo, se encontraba en proceso de clausura; la cobertura final de esta celda presentó problemas bastante notables debido al incumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos por las buenas prácticas de ingeniería para rellenos sanitarios, debido a que la cobertura final presentaba fallas técnicas porque no se efectuó un correcto manejo de lixiviados, lo cual generó altos niveles de percolación de aguas lluvias, especialmente en los meses de marzo, abril y mayo así como en septiembre y octubre, y parte de noviembre, (Niño, Ramón, & Ramón, 2016).

9.1.8 Meteorología de la zona

El área de estudio presenta la ubicación de cinco (5) estaciones de monitoreo de olores; la estación 1, se encuentra ubicada en el parqueadero principal, cuya fuente de emisión principal son los vehículos de carga, la estación 2 se ubica en las piscinas, estación que se encuentra cerca de la celda donde se disponen actualmente los residuos y se encuentran las piscinas de control de lixiviados, la estación 3 se ubica en una celda aleatoria del relleno, la estación 4 se localiza en un sector residencial conocido como el barrio El Porvenir y la estación 5 se ubica en la celda 4 del Cárcava 2.

Figura 32. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de olores ofensivos.



Fuente: Google Earth, 2019.

A continuación, se presenta un resumen de la información de los parámetros que tienen mayor incidencia en la dispersión de los contaminantes, en el monitoreo realizado por la firma K2 Ingeniería S.A.S durante los días 26 de octubre a 14 de noviembre de 2018.

Tabla 30. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo.

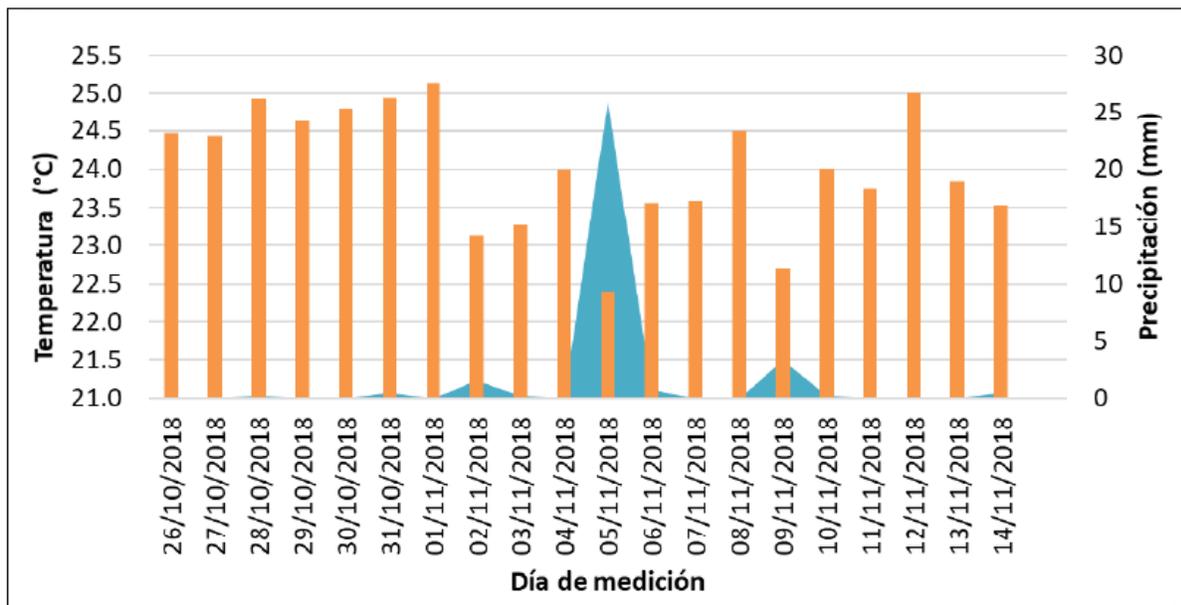
PARÁMETRO	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN BAROMÉTRICA (mmHg)	PRECIPITACIÓN (MM)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	HUMEDAD (%)
Promedio	24.0	685.8	33.3*	0.1	84.2

Máximo	25.1	686.7	25.9	0.3	87.9
Mínimo	22.4	684.8	0.0	0.0	79.9

*Precipitación acumulada

Fuente: (K2 INGENIERIA S.A.S, 2018).

Figura 33. Temperatura vs. Precipitación.



Fuente: (K2 INGENIERIA S.A.S, 2018).

9.1.8.1 Temperatura ambiente

El relleno sanitario El Carrasco presenta una temperatura promedio de 24°C, con una máxima de 25.1°C y una mínima de 22.4°C. Las variaciones de temperatura tienen una influencia sobre la densidad del aire y, por lo tanto, sobre la velocidad del viento. A mayores temperaturas, se presenta un aumento en la velocidad del viento y por ende una mayor dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

El incremento de la temperatura (25 a 31°C) y los vientos fuertes generan una reducción en la percepción de olores, debido al incremento en la altura de mezcla, el cual es un parámetro esencial

en los estudios de dispersión de la contaminación atmosférica al representar el volumen de aire disponible para la dispersión y transporte de los vertidos contaminantes.

Por otro lado, al disminuir la temperatura (19 a 22°C) o menores, se genera la inversión térmica, fenómeno con vientos descendentes esporádicos y vientos ascendentes en zonas urbanas que atraen la atmósfera de otros alrededores, ocasionando que los contaminantes del aire sean transportados a bajas velocidades y así mismo se concentren en la zona de influencia directa.

9.1.8.2 Precipitación

Teniendo en cuenta la escala de precipitación presentada en la Tabla 31 y el acumulado diario obtenida durante el periodo de medición y presentado en la Figura 32, la precipitación total se encuentra en un rango de 21 a 40 mm/mes clasificándose como “Ligera”; no obstante, para el día 5 de noviembre en particular, la precipitación se clasifica como “Fuerte”.

Tabla 31. *Escalas de precipitación.*

DENOMINACIÓN	PRECIPITACIÓN DIARIA (mm)	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)
Escasa	0-5	0-20
Ligera	6-10	21-40
Moderada	11-20	41-80
Fuerte	21-50	81-200
Muy Fuerte	51-70	201-280
Intensa	> 70	> 281

Fuente: (K2 INGENIERIA S.A.S, 2018).

9.1.8.3 Vientos

Para el área de estudio, se reportaron velocidades entre 0 – 1,5 m/s. clasificadas como vientos en “calma” y “aire ligero”, de acuerdo a la escala Beaufort, información que es presentada en la Tabla 32 y observándose una marcada predominancia de los vientos provenientes de la dirección Sur-Suroeste (SSW).

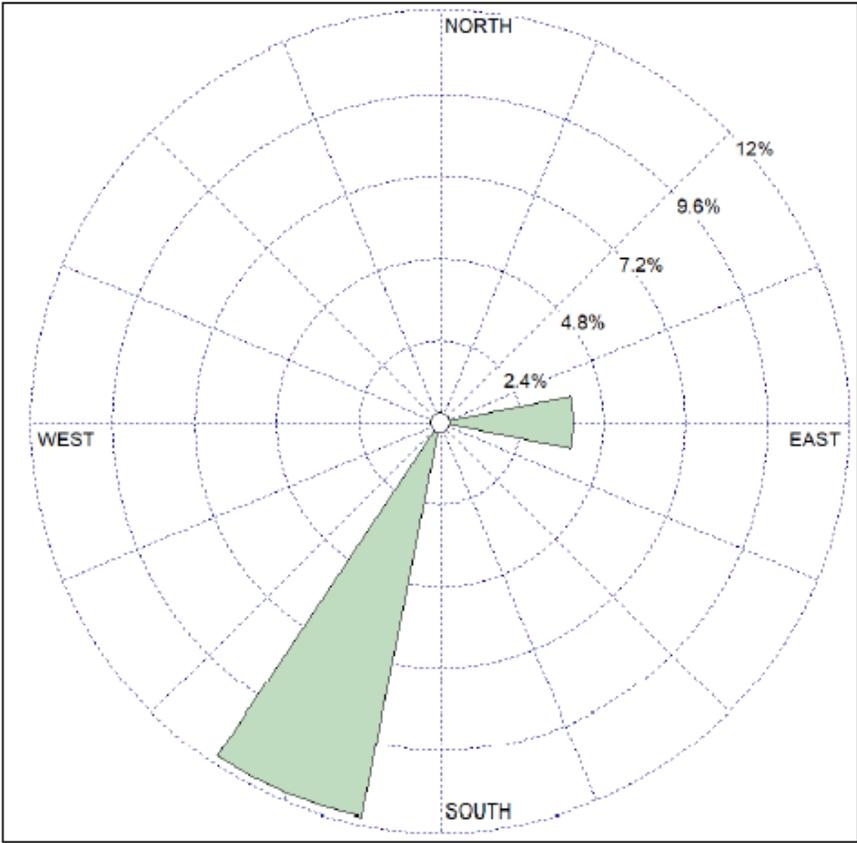
Tabla 32. Clasificación de vientos según velocidad (Beaufort).

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DE VIENTO	RANGO DE VELOCIDAD (m/s)
Calma	Calma, el humo asciende verticalmente	0 – 0,2
Aire ligero	El humo indica la dirección del viento	0,3 - 1,5
Brisa ligera	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos	1,6 – 3,3
Brisa suave	Se agitan las hojas, ondulan las banderas	3,4 – 5,4
Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles	5,5 – 7,9
Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada	8 – 10,8

Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas	10,9 – 13,8
Viento casi temporal	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento	13,9 – 16,9
Viento temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa	17 – 20,5
Viento temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento	20,6 – 24,1
Tormenta	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones	24,2 – 28,3
Tormenta violenta	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles	28,4 – 32,6
Huracán	Destrucción total	>32,7

Fuente: (Beaufort, 2008).

Figura 34. Rosa de vientos.



Fuente: (K2 INGENIERIA S.A.S, 2018).

Figura 35. Rosa de vientos en el sitio de disposición final El Carrasco.



Fuente: (K2 INGENIERIA S.A.S, 2018).

9.1.9 Hidrografía subterránea y superficial

Dentro de la hidrografía superficial y freática para el área de influencia del sitio de disposición final, se encuentra la quebrada El Carrasco, a través de la cual se ha considerado en amenaza por la alteración de su morfología y topografía, específicamente en el sector aledaño al cauce principal.

Por su parte, el ANLA realizó una visita en el año 2016, y de esta se pudo establecer lo siguiente:

“...hacia la zona alta de la quebrada El Carrasco en el sector en que colinda con la celda 1, ocurrió un proceso de remoción en masa en el talud que ocasionó que la masa de residuos se deslizara sobre el cauce de la quebrada El Carrasco, taponándola totalmente y generando el represamiento de las aguas que discurren por la quebrada además del contacto directo de estas aguas

con los residuos dispuestos en la celda y por consiguiente con los lixiviados”, (ANLA, 2018).

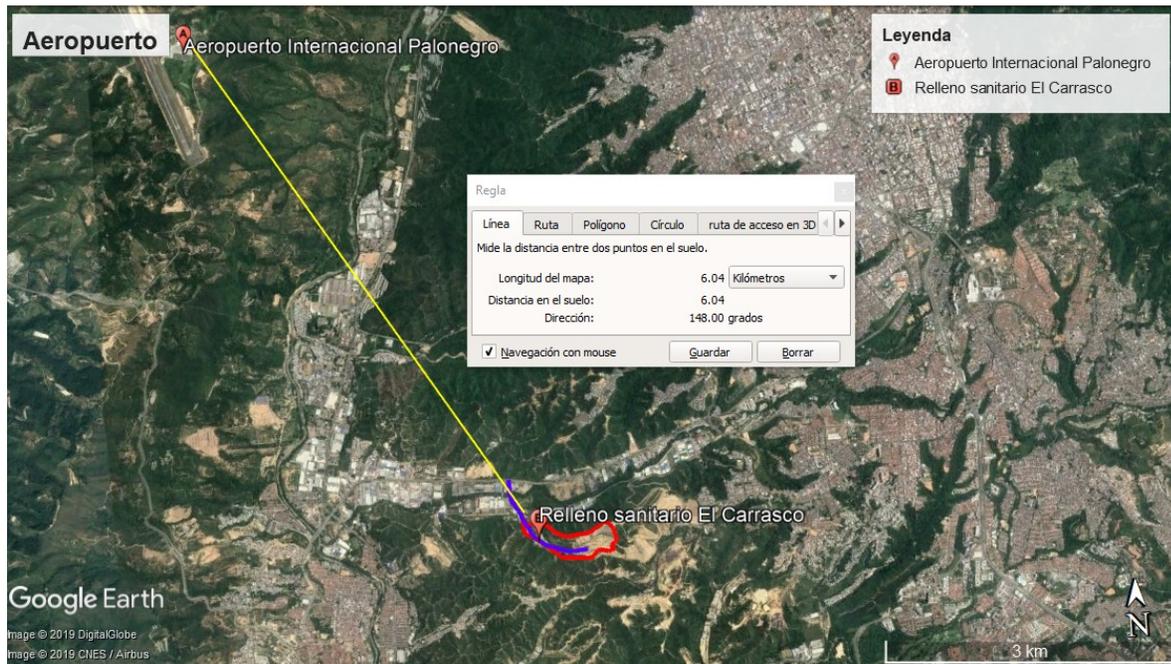
En relación con esto, se presenta un deficiente manejo en cuanto a las aguas lluvias y de escorrentía, dado a que los lixiviados discurren hacia los canales de las vías o drenajes existentes entre celdas, tales aguas se mezclan con aguas de escorrentía llegando a ser descargadas en esta quebrada, afluente de la quebrada la Iglesia, que es tributaria del río de Oro.

9.1.10 Presencia de aves: Zopilote negro

Durante el 2014 se evidenció aumento de presencia de aves de rapiña, de olores ofensivos y de vectores. Se considera que esta afectación presenta una intensidad que se comprende entre el 67 y 99% del predio El Carrasco, dado que la situación de manejo del mismo es precaria y afecta casi toda el área de operación, (ANLA, 2017).

Se considera que, el riesgo que generan las aves sobre el tráfico aéreo en el Aeropuerto Internacional Palonegro es alta, considerando que la distancia actual del relleno con el aeropuerto son de escasos 6 km, que implica que las aves están en capacidad de llegar a la pista o con bastante aproximación, dada la capacidad de las aves de desplazarse desde el sitio de alimentación y refugio, que es el relleno Sanitario El Carrasco, hasta el área de aproximación en el aeropuerto, (ANLA, 2017).

Figura 36. Distancia Aeropuerto Internacional Palonegro al relleno sanitario El Carrasco.



Fuente: Google Earth, 2019.

9.1.11 Situación socioeconómica

La cantidad de población en el área del relleno, está determinada por los diferentes municipios circundantes, dentro de los cuales se encuentra el municipio de Bucaramanga, con una población registrada para el año 2014 de 527.552 habitantes y 528.683 habitantes para el año 2018 (DANE, 2005), lo cual representa una tasa de crecimiento de 0,04 % en términos anuales.

En términos de población total, se registra un dato aproximado de 1.278.564 habitantes, demostrando que este dato ha sido calculado para un periodo de 5 años (2014 - 2018) de la población total de cada municipio.

Ecuación 10. Tasa de crecimiento de la población

$$P_t = P_0 (1 + r)^t$$

$$P_5 = P_0 (1 + r)^5$$

$$(1 + r)^5 = \frac{P_5}{P_0}$$

$$(1 + r)^5 = \frac{528.683}{527.552}$$

$$(1 + r)^5 = 1,002$$

$$1 + r = (1,002)^{\frac{1}{5}}$$

$$1 + r = 1,0004$$

$$r = 1,0004 - 1$$

$$r = 0,000428$$

$$r = 0,04 \%$$

Donde:

Pt: Población final

Po: Población inicial

r: tasa de crecimiento de la población total

t: tiempo en años

Además, en esta zona de influencia se encuentra los municipios de Floridablanca, Piedecuesta, Girón, Rionegro, Lebrija, Surata, Charta, California, Barbosa, Matanza, El Playón, Tona, Vetas, Mesa de los Santos y Zapatoca. A continuación, se presenta la Tabla 33, con los respectivos municipios, el registro de la población de los años 2014-2018 y su tasa de crecimiento anual.

Tabla 33. Población de los municipios en el área de influencia del relleno sanitario El Carrasco y su respectiva tasa de crecimiento anual.

N°	MUNICIPIOS	POBLACIÓN					TASA DE CRECIMIENTO (%)
		2014	2015	2016	2017	2018	
1	Bucaramanga	527.552	527.985	528.352	528.575	528.683	0,04
2	Floridablanca	264.746	265.452	266.102	266.669	267.170	0,18
3	Piedecuesta	145.810	149.219	152.665	156.167	159.729	1,84

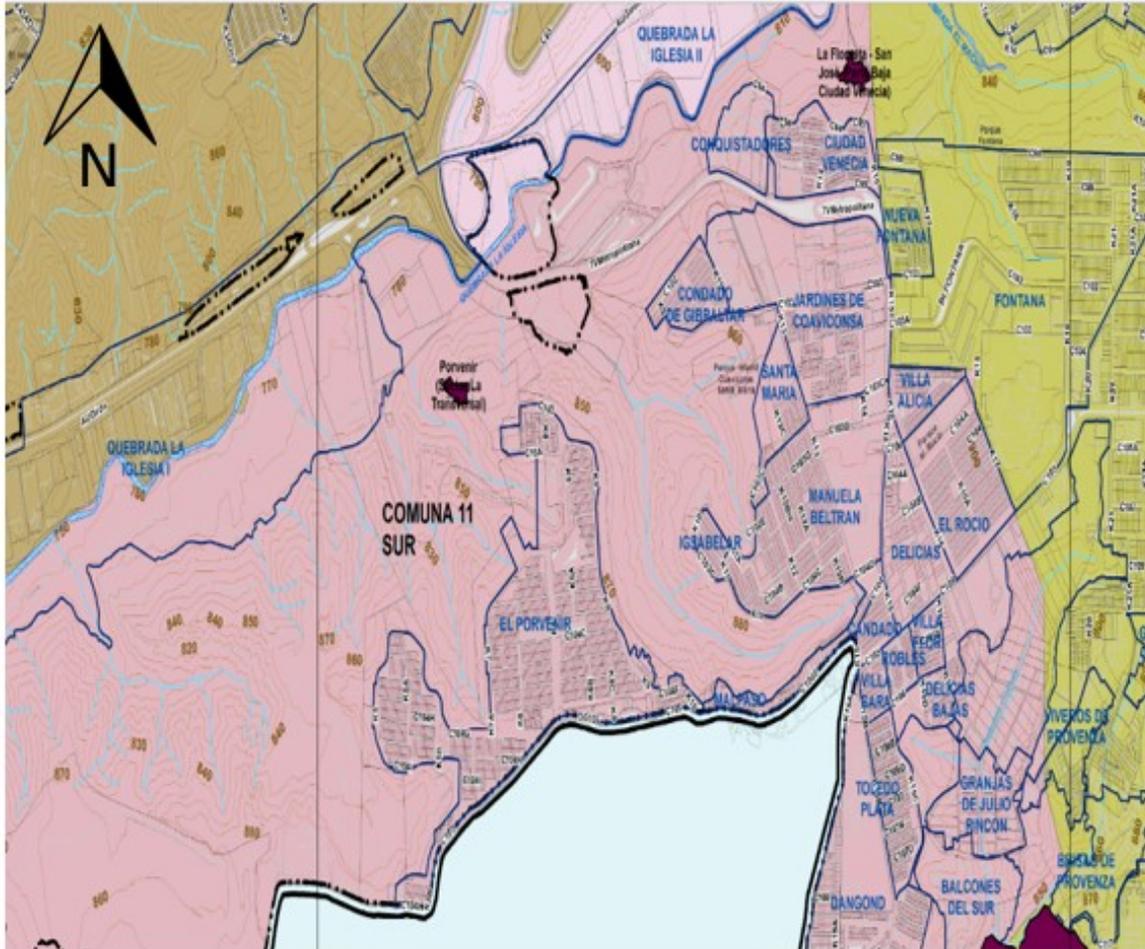
4	Girón	175.457	180.305	185.248	190.283	195.426	2,18
5	Betulia	5.134	5.110	5.075	5.061	5.031	-0,40
6	Rionegro	27.330	27.114	26.896	26.680	26.461	-0,64
7	Lebrija	37.739	38.560	39.398	40.252	41.122	1,73
8	Suratá	3.325	3.295	3.264	3.225	3.196	-0,79
9	Charta	2.718	2.670	2.637	2.592	2.549	-1,28
10	California	1.956	1.984	2.006	2.020	2.037	0,81
11	Matanza	5.342	5.297	5.238	5.201	5.147	-0,74
12	El Playón	11.911	11.776	11.646	11.520	11.385	-0,90
13	Tona	7.046	7.085	7.129	7.168	7.201	0,44
14	Los Santos	12.065	12.185	12.299	12.423	12.539	0,77
15	Santa Bárbara	2.146	2.137	2.122	2.100	2.085	-0,58
16	Zapatoca	8.969	8.929	8.891	8.847	8.803	-0,37

Fuente: Autor, 2020.

Del mismo modo, la población más cercana se encuentra ubicada a menos de 1 kilómetro en el barrio El Porvenir, el cual tiene aproximadamente 10.000 habitantes y se ha demostrado en diferentes estudios la problemática que enfrenta esta población por la cercanía al relleno, puesto que este barrio registra que el 1% de la población reside hace menos de 1 año, el 5% reside de 1 a 5 años, el 27% reside de 5 a 10 años y el 34% reside hace más de 10 años, (Carrascal & Carrascal, 2012).

El barrio El Porvenir, se encuentra localizado dentro de la “Comuna 11 sur” y este a su vez tiene una extensión de 321,50 Ha; como se demuestra a continuación:

Figura 37. División Político Urbana del municipio de Bucaramanga.



Fuente: (Secretaría de Planeación Municipal, s.f).

Del diagnóstico anterior, se puede concluir que en la actualidad El Carrasco se denomina relleno, pero que ha venido de ser un botadero toda vez que ocupó cárcavas, fuentes superficiales de agua y espacios totalmente naturales para el manejo de corrientes impidiendo el desarrollo hídrico de la región.

De acuerdo a la producción de residuos sólidos mostrada en la Tabla 20, se puede inferir que para el año 2017 se obtuvo una producción total de 1030,61 Ton/día equivalente a 376.173

Ton/año, lo cual demuestra una disminución en el año 2019 con una producción total de 328.500 Ton/año.

9.2 Resultados obtenidos del modelo colombiano de biogás

El modelo colombiano de biogás realizado en el desarrollo del proyecto, se organizó con base en las cinco fases proporcionadas por el modelo.

En primera instancia, se muestra el mapa de Colombia en donde se clasifican las diferentes regiones geográficas del país, por lo cual el Departamento de Santander hace parte de la región Andina como se muestra en la Figura 37.

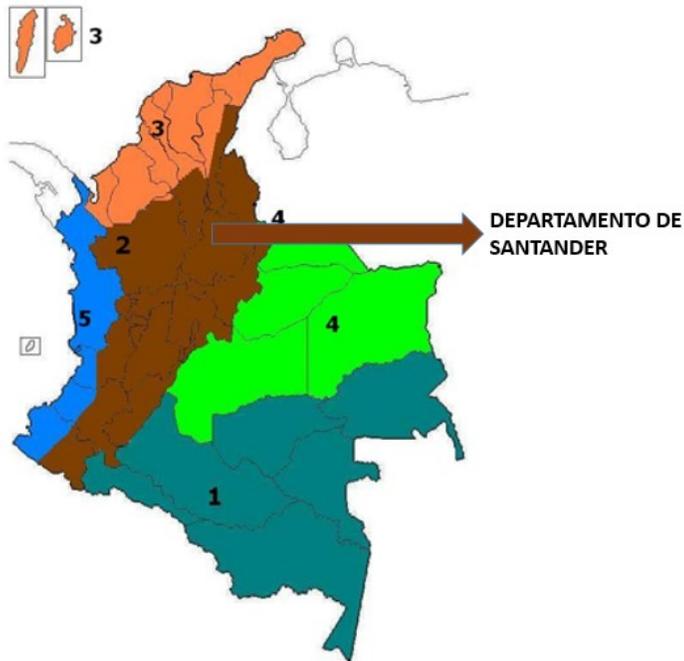
Se presenta la fase de alimentación del modelo, la cual representa la base para obtener resultados confiables, en esta fase se tuvo en cuenta las variables determinadas desde el diagnóstico ambiental realizado en el objetivo específico 1.

Por consiguiente, se expone las respectivas tablas de resultados para determinar la generación y recuperación de biogás, que permiten establecer la capacidad máxima de la planta de electricidad y la gráfica de proyección de recuperación de biogás en el relleno sanitario El Carrasco.

Cabe resaltar, que este modelo determina la reducción de emisiones para CH₄ y CO₂ equivalente, lo cual representa un dato importante.

9.2.1 Fase 1: Regiones geográficas de Colombia

Figura 38. *Mapa de Regiones Geográficas de Colombia.*



Fuente: (EPA, 2009) (Figura 1).

Las regiones Geográficas que corresponden al mapa son las siguientes:

- 1) Amazónica
- 2) Andina
- 3) Caribe
- 4) Orinoquía
- 5) Pacífica

Como se puede observar en el mapa anterior, el departamento de Santander se encuentra ubicado en la región andina, lo cual es importante para el modelo poder basarse en la precipitación anual promedio característico del departamento estudiado.

La precipitación media anual es el valor que se obtiene a partir del promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año; en la región andina se da una precipitación húmeda con valores de 1500-1999 mm/yr; los cuales son característicos de esta zona, (EPA, 2009).

9.2.2 Alimentación

La hoja de “Alimentación” cuenta con 30 filas de texto que requiere información del relleno sanitario El Carrasco, en donde el modelo calcula con información específica. La Tabla 34 muestra el diseño de la sección de alimentación que presenta todas las preguntas y entradas de información del relleno, (EPA, 2009).

Tabla 34. *Alimentación del modelo colombiano de biogás.*

MODELO COLOMBIANO DE BIOGÁS DE RELLENOS SANITARIOS		
DESARROLLADO POR SCS ENGINEERS, PARA LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE DE LOS E.E.U.U (EPA US)		
1	Nombre del sitio:	Relleno Sanitario El Carrasco
2	Ciudad:	Bucaramanga
3	Departamento:	Santander
4	Seleccionar una de 5 regiones geográficas en Colombia:	Andina
5	Seleccionar una de 5 zonas climáticas basado en la precipitación anual promedio:	Húmedo (1500-1999 mm/yr)
6	¿Existen datos de caracterización de residuos específicos al relleno sanitario en cuestión?	Si
7	Año de apertura del sitio:	1978
8	Disposición anual del año más reciente (Mg/año):	328.500 Mg
9	Año de disposición (ver #8):	2018

10	¿Existe información sobre el volumen total dispuesto en el sitio (volumen o masa)? Si no existe información, entonces pasar al #15	Si
11	¿Existe información sobre la disposición histórica de residuos para calcular el Mg. dispuesto en sitio?	No
12	¿Cuál es el estimado de residuos puesto en el sitio al final del año? (ver #9)	32.851 m ³
13	¿Cuál es la densidad estimada en sitio en Mg/m ³ (rango típico: 0.5-1.0)	1,11 Mg/m ³
14	Si el volumen de residuos puesto en sitio se encuentra en (m ³), convertir a Mg:	36.464 Mg
15	Año de clausura actual o proyectado:	2020
16	Crecimiento estimado en la disposición anual:	-1,0 %
17	Profundidad promedio del relleno sanitario:	13 m
18	Diseño y prácticas de manejo del relleno sanitario (condiciones históricas promedio):	1
19a	¿Ha habido algún incendio en el relleno sanitario?	Si
19b	Si la respuesta 19a es "Sí", indique el área del impacto en % del total del relleno sanitario:	11%
19c	Si la respuesta 19a es "Sí", indique la gravedad o impacto del incendio:	2
20	Año de arranque del sistema de captura (actual/estimado):	2018
21	Porcentaje del área con residuos que cubre el sistema de captura:	90%

22	Porcentaje del área con residuos con cubierta final:	100%
23	Porcentaje del área con residuos con cubierta intermedia:	0%
24	Porcentaje del área con residuos con cubierta diaria:	0%
25	Porcentaje del área con residuos sin cobertura:	0%
26	Porcentaje del área de residuos con recubrimiento inferior de arcilla/ geomembrana:	100%
27	¿La compactación de residuos se hace regularmente?	Si
28	¿La disposición de residuos se hace en un área específica?	Si
29a	¿Existe el afloramiento/brote de lixiviado en la superficie del relleno sanitario?	Si
29b	Si la respuesta de 29a es “Si”, ¿esto ocurre sólo después de llover?	No
30	Eficiencia de captura estimada	52%

Fuente: Modelo colombiano de biogás

Para la pregunta 18, diseño y prácticas de manejo del relleno sanitario se tuvo en cuenta la clasificación del modelo que refiere a la disposición del sitio si cuenta o no con control. De ser la primera opción se selecciona el número 2, de ser el caso contrario se opta por el número 1 y de no ser ninguno de los dos casos anteriores, se registra el número 3.

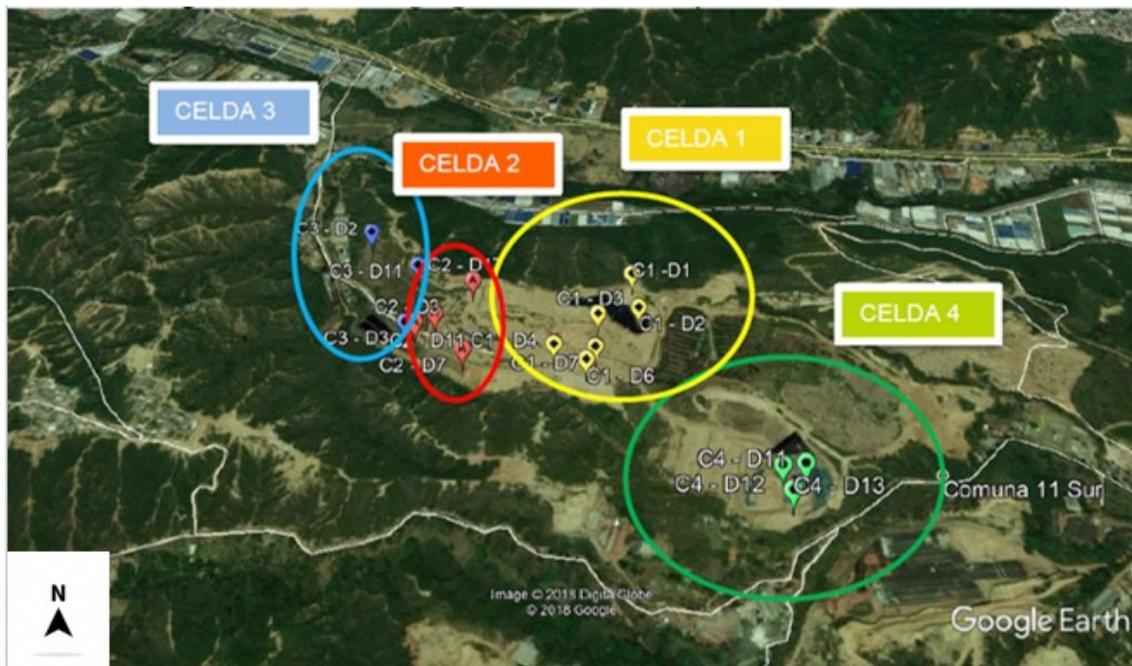
Para la pregunta 19 b, se indica el área del impacto en porcentaje (%) del total del relleno sanitario que fue afectado por un incendio. En este se tuvo en cuenta el incendio reportado en el mes de febrero de 2016, debido al uso de voladores (pólvora) que cayó sobre vegetación presente en el predio, (ANLA, 2018). Para estimar el porcentaje se tuvo en cuenta el área total del predio (94 ha) y el área de la zona afectada que corresponde al sector del Carrasco cubierto por vegetación natural (12 ha).

En la pregunta 19 c, se indica la gravedad o impacto del incendio en la cual un impacto bajo corresponde a (1), impacto medio (2) e impacto grave (3).

9.2.3 Disposición y recuperación de biogás

Se determinó la disposición de residuos estimada en toneladas métricas, la eficiencia del sistema de captura y la recuperación del biogás (m^3/h a 50% CH_4), la cual no se está recuperando, puesto que en el año 2018 se instaló el captador de biogás en las celdas 1, 2, 3 y 4 como se muestra en la Figura 38.

Figura 39. Localización de los ductos y las celdas instalados en 2018.



Fuente: (EMAB, 2018).

La eficiencia del sistema de captura hace referencia al porcentaje de la generación del biogás que se estima, el cual puede ser recuperado por el sistema de recolección; dicha eficiencia se establece en función de la cobertura del sistema y la propia operación del sistema de captura.

Se calcula mediante las pautas establecidas por el modelo, detalladas en el capítulo de metodología. En la Tabla 35 se muestran los resultados obtenidos de la eficiencia de captura de biogás.

Tabla 35. *Resultados de la eficiencia de captura de biogás.*

PARÁMETRO	PORCENTAJE DE EFICIENCIA
Corresponde a las prácticas de manejo del sitio	85%
Corresponde a la profundidad de residuos	85%
Área de cobertura del sistema de captura	77%
Cobertura superior y su cobertura	69%
Recubrimiento inferior y su cobertura	69%
Compactación de los residuos	69%
Área de disposición designada	69%
Lixiviado	52%
Eficiencia de Captura Estimada:	52%

Fuente: Autor, 2020.

De acuerdo con la US EPA, las eficiencias de captura típicas varían entre 60% a 85%, con un promedio de 75%. Un reporte del IPCC estableció que una recuperación menor del 90% puede ser lograda en celdas con cobertura final y un sistema de captura eficiente, (EPA, 2009).

En Colombia se pueden alcanzar eficiencias de captura máximas de más de 90% bajo las mejores condiciones y sitios sin manejo nunca podrían alcanzar eficiencias de captura de 50% aún con un muy buen sistema de captura instalado, (EPA, 2009).

Ahora bien, la eficiencia de captura de biogás para el relleno sanitario El Carrasco, se encuentra en un escenario intermedio óptimo (52%) para recuperar el biogás y convertirlo en energía, (Vera, Estrada, Martínez, & Ortiz, 2015).

9.2.4 Caracterización de los residuos

El valor de la generación potencial de metano (L_0) de los residuos describe la cantidad total de gas metano potencialmente producida por una tonelada de residuos cuando esta se degrada y depende casi exclusivamente de la caracterización de los residuos en el relleno sanitario.

Para realizar la siguiente tabla se tuvo en cuenta los datos de caracterización de residuos suministrados por la Empresa de Aseo de Bucaramanga que fueron de gran importancia para alimentar el modelo.

Tabla 36. *Caracterización de residuos en el relleno sanitario El Carrasco y en el Departamento de Santander.*

CATEGORÍA DE RESIDUO	DATOS ESPECÍFICOS AL SITIO	SANTANDER
Comida	30,0%	45,7%
Papel y cartón	8,0%	5,7%
Poda (jardines)	30,0%	5,2%
Madera	2,5%	6,4%
Caucho, piel, huesos y paja	2,5%	3,1%

Textiles	4,0%	7,0%
Papel higiénico	0,0%	2,3%
Otros orgánicos	0,0%	0,2%
Pañales (asume 20% orgánico y 80% inorgánico)	0,0%	2,1%
Metales	1,0%	1,0%
Construcción y demolición	0,0%	4,9%
Vidrio y cerámica	1,0%	1,1%
Plásticos	21,0%	11,9%
Otros inorgánicos	0,0%	3,5%
TOTAL	100,0%	100,0%

Fuente: (EMAB, 2018) y Modelo colombiano de biogás

De la anterior tabla, el modelo proporciona una serie de datos que contribuyen a la generación y recuperación de biogás, la cual se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Resultados obtenidos de la caracterización de los residuos.

CATEGORÍA DE RESIDUO	DATOS ESPECÍFICOS AL RELLENO SANITARIO EL CARRASCO	SANTANDER
Porcentaje de degradación muy rápida (1)	30,0%	46,3%

Porcentaje de degradación moderadamente rápida (2)	30,0%	7,4%
Porcentaje de degradación moderadamente lenta (3)	12,0%	12,7%
Porcentaje de degradación muy lenta (4)	5,0%	9,5%
Total orgánicos	77,0%	75,9%
Total inorgánicos	23,0%	24,1%
Lo de degradación rápida calculado	70	70
Lo de degradación moderadamente rápida calculado	121	121
Lo de degradación moderadamente lenta calculado	145	145
Lo de degradación lenta calculado	200	200

Fuente: Modelo colombiano de biogás.

Teniendo en cuenta la anterior tabla se pueden identificar 4 categorías en las que se dividen los residuos, según el modelo colombiano de biogás.

- ❖ Residuos de degradación muy rápida: residuos alimenticios, otros orgánicos, 20% de los pañales.
- ❖ Residuos degradación moderadamente rápida: residuos vegetales, poda de casas o parques municipales, papel higiénico.

- ❖ Residuos degradación moderadamente lenta: papel, cartón, textiles.
- ❖ Residuos degradación muy lenta: madera, caucho, piel, huesos, paja.

La primera categoría que corresponde a residuos de degradación muy rápida cuenta con el 30% de los residuos del relleno sanitario El Carrasco y el 46,3% para el departamento de Santander, también se evidencia la generación potencial de metano de degradación rápida calculado, el cual tiene un valor de 70 tanto para el relleno sanitario como para el departamento de Santander.

La segunda categoría que corresponde a residuos con degradación moderadamente rápida cuenta con el 30% de los residuos del relleno sanitario El Carrasco, mientras que para el departamento de Santander disminuye a 7,4%. Para esta segunda categoría también se calcula la generación potencial de metano de degradación moderadamente rápida calculado el cual tiene un valor de 121 para los dos sitios.

La tercera categoría que corresponde a residuos de degradación moderadamente lenta se evidencian porcentajes similares, para el relleno sanitario el Carrasco se evidencia el 12% para esta categoría, mientras que para el departamento de Santander el porcentaje es de 12,7. Para esta tercera categoría también se calcula la generación potencial de metano de degradación moderadamente lenta calculado el cual tiene un valor de 145.

Para la última categoría que son residuos de degradación muy lenta le corresponde un 5,0% de esta categoría para el relleno sanitario el carrasco, mientras que para el departamento de Santander le corresponde un 9,5%. Además, el cálculo de la generación potencial de metano de degradación lenta calculado tiene un valor de 200.

Por otro lado, también se evidencia el porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos, para el relleno sanitario El Carrasco en residuos orgánicos corresponde al 77% mientras que para el departamento de Santander es de 75,9%. Para el segundo tipo de residuos que son los inorgánicos el relleno sanitario El Carrasco le corresponde el 23% mientras que para el departamento de Santander se evidencia un ligero aumento con un 24,1%.

9.2.5 Tabla de resultados

Los resultados del modelo se muestran en la Tabla 38, la cual proporciona información sobre el año de cierre proyectado o actual, la disposición de residuos en Mg por año y acumulada, generación de biogás para cada año de proyección en m³/h, pie³/min y mmBtu/h (millones de unidades térmicas británicas por hora), estimados de reducción de emisiones de metano en toneladas CH₄/año y en toneladas CO₂ eq/año (CER's), entre otras.

Tabla 38. Tabla de resultados

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS DE RELLENOS SANITARIOS Relleno Sanitario El Carrasco Bucaramanga, Santander, Colombia													
Año	Disposición (Mg/ir)	Disposición Acumulada (Mg)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Captura (%)	Recuperación de Biogás Estimada			Capacidad Máxima de la Planta de Electricidad* (MW)	Línea Base del Flujo de Biogás (m³/h)	Reducción de Emisión Estimadas**	
			(m³/h)	(cfm)	(mmBtu/h)		(m³/h)	(cfm)	(mmBtu/h)			(tonnes CH ₄ /yr)	(tonnes CO ₂ eq/yr)
2018	328.500	34.660	-82	-48	-1,5	52%	-42	-25	-0,8	-0,1	0	-133	-2.796
2019	325.220	359.880	555	327	9,9	52%	289	170	5,2	0,5	0	905	19.001
2020	0	359.880	1,059	623	18,9	52%	551	324	9,8	0,9	0	1.727	36.257
2021	0	359.880	849	500	15,2	52%	441	260	7,9	0,7	0	1.385	29.076
2022	0	359.880	689	405	12,3	52%	358	211	6,4	0,6	0	1.123	23.591
2023	0	359.880	565	333	10,1	52%	294	173	5,3	0,5	0	922	19.361
2024	0	359.880	469	276	8,4	52%	244	144	4,4	0,4	0	765	16.065
2025	0	359.880	393	232	7,0	52%	205	120	3,7	0,3	0	641	13.471
2026	0	359.880	333	196	6,0	52%	173	102	3,1	0,3	0	543	11.407
2027	0	359.880	285	168	5,1	52%	148	87	2,6	0,2	0	464	9.748
2028	0	359.880	245	144	4,4	52%	128	75	2,3	0,2	0	400	8.400
2029	0	359.880	213	125	3,8	52%	111	65	2,0	0,2	0	347	7.294
2030	0	359.880	186	110	3,3	52%	97	57	1,7	0,2	0	304	6.377

En la tabla anterior, se está mostrando que a partir del año 2020 la disposición de residuos sólidos se registra como cero toda vez que el cierre del relleno sanitario se tiene previsto a partir de este año.

El cálculo para la reducción de emisiones no toma en cuenta la generación de electricidad o las emisiones del proyecto; esta es calculada usando una densidad de metano de 0,0007168 Mg/m³ a temperatura estándar, (EPA, 2009).

Por otra parte, el modelo utiliza unos parámetros para realizar los cálculos mostrados en la Tabla 39 y para esto se utilizó un contenido de metano en el biogás del 50% con un factor de corrección del 0,8, el cual es un ajuste a las estimaciones de generación de biogás del modelo que toma en cuenta el grado de descomposición anaeróbica de los residuos.

Tabla 39. *Parámetros del modelo*

CATEGORÍA DE RESIDUO	DEGRADACIÓN RÁPIDA	DEGRADACIÓN MODERADAMENTE RÁPIDA	DEGRADACIÓN MODERADAMENTE LENTA	DEGRADACIÓN LENTA
Índice de generación de CH ₄ (k):	0,340	0,150	0,060	0,030
Potencial de generación de CH ₄ (Lo) (m ³ /Mg):	52	90	108	149

Fuente: Modelo colombiano de biogás, 2019.

El valor de k describe el índice al cual los residuos dispuestos en el relleno sanitario se degradan y producen metano, y está relacionado con el período de vida de los residuos. Conforme el valor de k incrementa, la generación de metano en un relleno sanitario también incrementa (siempre y cuando el relleno sanitario siga recibiendo residuos) y luego disminuye con el tiempo (después que el relleno sanitario es clausurado), (EPA, 2009).

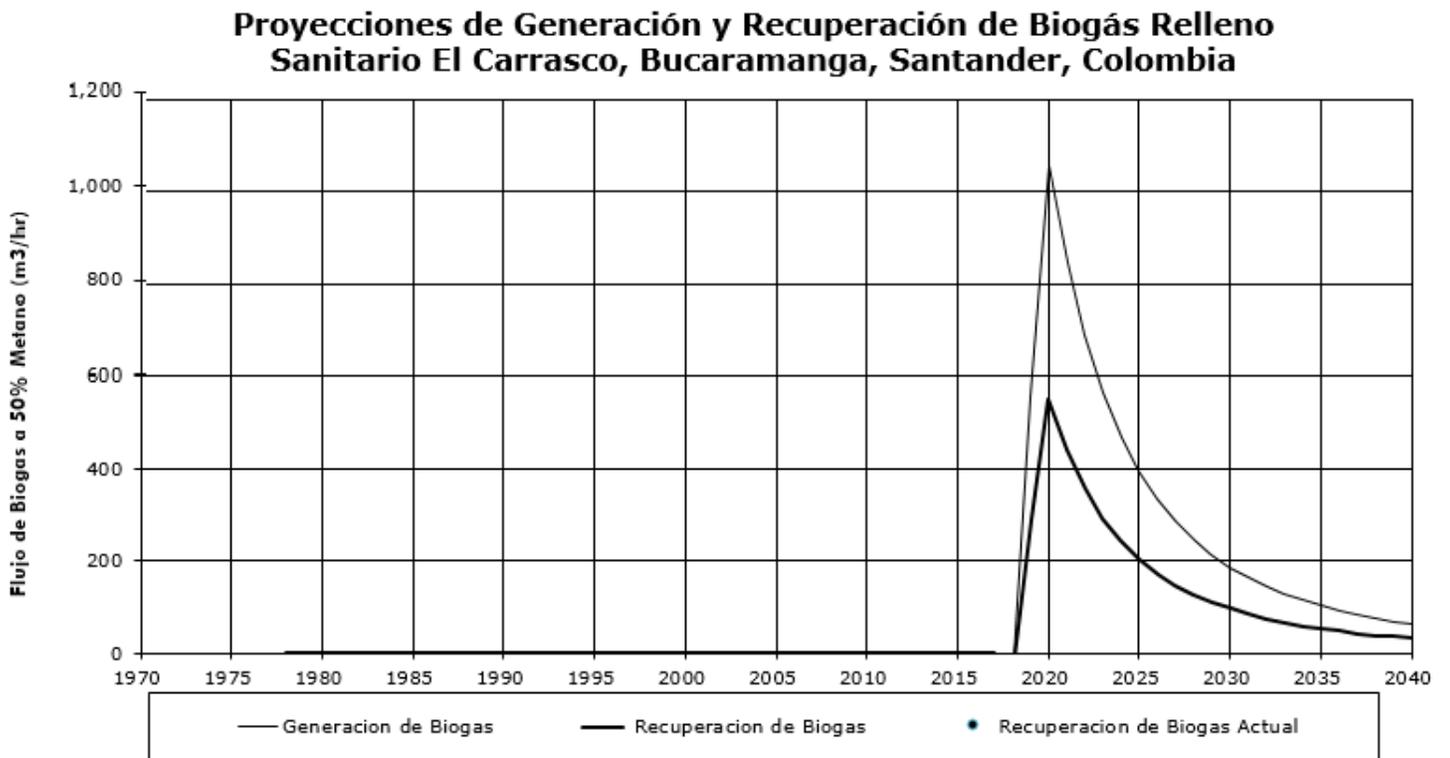
(L_0) es la constante del modelo que representa la capacidad potencial para generar metano (componente principal del biogás) del relleno sanitario, depende de la cantidad de celulosa disponible en los residuos. Las unidades de (L_0) están en metros cúbicos por tonelada de residuos (m^3/Mg) y los valores teóricos varían entre 6,2 y 270 m^3/Mg , (EPA, 2009).

El potencial de generación de metano alcanza su máxima (149 m^3/Mg) con una degradación lenta, lo cual corresponde a residuos de madera, caucho, piel, huesos y paja. Esto significa que, este tipo de residuos requiere una degradación más lenta en comparación con residuos alimenticios en donde la degradación es mucho más rápida.

9.2.6 Gráfica de resultados

Por último, en esta fase se evidencia los resultados por medio de una gráfica, la cual proyecta la generación y recuperación del relleno sanitario El Carrasco.

Figura 40. Gráfica de resultados



Fuente: Modelo colombiano de biogás.

9.3 Plan de Gestión Ambiental

El plan surge de toda la planeación estratégica, que permite orientar la gestión ambiental con los actores estratégicos y así contribuir con el desarrollo de la sostenibilidad en el territorio en el cual se enmarca el emprendimiento, llevar a cabo los lineamientos ambientales del plan y contribuir con el cumplimiento de los objetivos y estrategias para lograr con éxito la cadena de valor de la empresa.

La estructuración del plan toma de referencia algunos estándares internacionales definidos en las normas ISO 14001:2015 adoptada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) en septiembre de 2015.

Además, se toman en cuenta los estándares de la NTC-ISO 50001 adoptada por ICONTEC, la cual establece los criterios o parámetros necesarios que debe tener todo sistema de Gestión de la energía en una organización, con el fin de mejorar el desempeño energético y el aumento de la eficiencia del sistema, permitiendo la reducción efectiva de impactos ambientales, así como de los costos y recursos asociados al sistema energético, (Rojas & Hernández, 2018).

En la NTC-ISO 50001, se menciona la ley 1715 del 13 de mayo de 2014, en donde se promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas energías renovables o energías verdes, así mismo busca fomentar la inversión, investigación y desarrollo de proyectos energéticos sostenibles, (Rojas & Hernández, 2018).

9.3.1.1 Análisis del Ciclo de Vida.

El Análisis de Ciclo de Vida, es una técnica de evaluación de los aspectos y potenciales impactos ambientales asociados a un producto, un proceso productivo o una actividad a lo largo del ciclo de vida de los mismos, o sea considera un producto desde su origen como materia prima hasta su final como residuo, (Vega, 2010), teniendo en cuenta las fases intermedias como:

- Extracción de materiales o materiales primas

- Producción
- Distribución
- Uso del producto
- Fin de vida o cierre

Tabla 40. *Análisis del ciclo de vida de la organización.*

Fases del ciclo de vida	Aspectos ambientales	Impactos ambientales
Adquisición de materias primas	Generación de residuos inorgánicos: vidrio, plásticos, metalizados, cartones de envases y empaques de los productos.	Colmatación en la planta de biogás con materiales aprovechables.
	Transporte de residuos: combustible consumido por los camiones recolectores de basura	Agotamiento de recursos abióticos (agua, aire, temperatura, pH, suelo, humedad, oxígeno, nutrientes). Agotamiento de la capa de ozono Calentamiento global Eco-toxicidad del agua Toxicidad humana
Manufactura o producción	Equipo de generación de electricidad – motor de combustión interna	Agotamiento de recursos abióticos Acidificación dióxido de azufre (SO ₂ eq) Eutrofización

		Toxicidad humana, de agua dulce, agua marina y terrestre Foto-oxidación
Distribución y mercadeo	Consumo de energía en la bomba de absorción donde se extrae el biogás para ser tratado y recuperado en energía.	Algunas emisiones al aire Toxicidad humana Eco-toxicidad Eutrofización
Uso del producto	No contribuye en los impactos	Esto se debe al equipo generación de electricidad ya que éste al evitar que el metano sea enviado al aire directamente, contribuye positivamente con el ambiente.
Disposición final y cierre	El producto se vende procesado, no se requieren recursos para su uso.	Disminución de los GEI Mejoramiento de las condiciones de salud de la población aledaña al relleno Buena imagen corporativa.

Fuente: Autor, 2020.

9.3.2 Evaluación de impacto ambiental y social

En este apartado, se evidencia la evaluación de los impactos ambientales y sociales que se determinan con el proyecto, en el cual se identifica, valora y comunica el impacto que producirá las diferentes actividades del proyecto en su entorno.

Considerando que el proyecto se enfoca dentro de una fase de prefactibilidad, las consideraciones que se realizaron dentro de este, son generales y limitadas a la clase de tecnología escogida, información obtenida por diversas fuentes, entre ellas las encontradas dentro de la información primaria y secundaria del relleno sanitario El Carrasco.

Tabla 41. *Matriz de evaluación de impactos ambientales año 2020 del R.S El Carrasco.*

		IMPACTOS																							
		COMPONENTE ATMOSFÉRICO						C. HÍDRICO		C. GEOSFÉRICO				C. BIÓTICO	COMPONENTE SOCIOECONÓMICO										
		Aumento de gases y material particulado	Aumento de la presión sonora	Mejoramiento de la calidad del aire	Mejoramiento de la extracción del biogás	Disminución de GEI	Disminución de olores	Aumento en los niveles de vertidos líquidos	Mejoramiento de la extracción del lixiviado	Disminución de riesgo de contaminación de acuíferos	Aumento en los niveles de residuos	Cambio en la geotecnia del RS	Aumento de la estabilidad del RS	Disminución de riesgo de explosiones	Mejoramiento del entorno visual	Generación de expectativas	Generación de empleo	Afectación de la imagen del RS	Afectación de la calidad de vida	Aumento de riesgos profesionales	Ateración de los procesos propios del RS	Afectación en la seguridad del RS	Afectación de la dinámica económica	Apoyo de alternativas no convencionales de energía	Aumento de la eficiencia de generación eléctrica
ETAPA DEL PROYECTO	ACTIVIDAD																								
PRELIMINARES	Recepción, contratación y capacitación mano de obra														4/4	4/7	4/8	6/9							
	Movimiento de maquinaria y equipos	-5/4	-3/3																-7/6	-3/5					
	Localización e instalación de campamentos e infraestructura temporal	-6/4	-3/3					-8/3				-4/5				9/8			-7/6			-8/8			
CONSTRUCCIÓN	Localización, replanteo y cerramiento							-3/3			-5/5					2/3			-6/6	-4/5					
	Instalación de infraestructura temporal	-6/4	-3/3					-3/3			-5/5					2/3					-4/5				
	Desvíos temporales de tránsito vehicular																		-8/5	-6/5					
	Operación de maquinaria y equipos	-6/4	-3/3													5/8						-8/8			
	Suministro y almacenamiento de materiales		-5/4																	-8/5		-8/8			
	Desmante, excavación y movimientos de tierra	-3/4	-3/3					-6/4			-6/5	7/5								-8/5					
	Mantenimiento y lavado de maquinaria y equipos							-3/3			-6/7														
	Construcción de edificaciones necesarias e instalación de batería sanitaria, oficinas y cuartos	-8/5	-7/5					-3/3			-6/5					5/4				-4/5					
	Instalación de equipos, generadores, línea de conducción de biogás y energía, etc	-4/3	-8/6					-3/3			-5/9	7/5				8/9				-8/8					
	Obras complementarias	-6/4	-3/3					-8/3				3/5				2/2									
	Retiro de maquinaria, equipos y campamento	-4/2	-8/2					-8/2			-4/5											-6/8			
OPERACIÓN	Información a la comunidad														7/9		7/8								
	Extracción activa y conducción de biogás				8/10			-6/7	9/8	5/5			3/5	8/9											
	Generación de energía	-7/10	-8/8	8/10		9/10	9/10	-6/7								8/8	2/9								
	Mantenimiento de red de extracción y conducción				8/10				9/8					5/3		8/8									
	Mantenimiento de la planta de generación de energía eléctrica							-4/2			-5/9			5/3		8/9									7/9
PROMEDIOS POSITIVOS				1	2	1	1		2	1		3	1	1	2	2	11	3	1						1
PROMEDIOS NEGATIVOS		10	11					12			9								8	4	4				

Fuente: Autor, 2020.

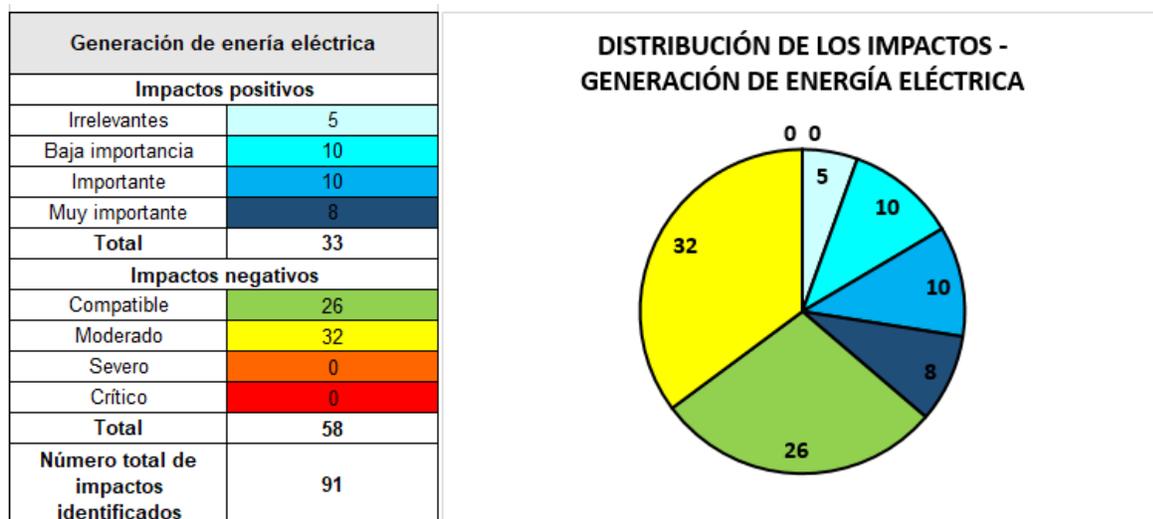
Categorías de evaluación

Categoría	
Positivos	Negativos
Irrelevante	Compatible
Baja importancia	Moderado
Importante	Severo
Muy importante	Crítico

MAGNITUD / IMPORTANCIA	Magnitud: Es la alteración provocada en el factor ambiental y va precedido del signo + o - (+ impacto positivos; - impactos negativos) y su rango es de 1 a 10.
	IMPORTANCIA: Es el peso relativo que el factor ambiental considerado dentro del proyecto y fluctúa de 1 a 10

Fuente: Autor, 2020.

Figura 41. Resumen gráfico de las cantidades de los impactos analizados.



Fuente: Autor, 2020.

9.3.3 Requisitos legales ambientales.

La empresa E&F ENERGY SAS, deberá cumplir con los requisitos ambientales presentados en la Tabla 42, además de lo contemplado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015.

Tabla 42. *Matriz de requisitos legales ambientales aplicables a los procesos y actividades de la organización productiva.*

N°	Aspecto Ambiental	Requisitos legales aplicables al objeto de la empresa			
		Norma	Emisor	Artículos Aplicables	Evidencia de cumplimiento
1.	Generación de residuos sólidos				
1.1	Generación de residuos sólidos ordinarios	Decreto 1713 de 2002	Presidencia de la República	5	Establece que la responsabilidad por los efectos ambientales y a salud pública generados por las actividades efectuadas en los diferentes componentes del servicio público de aseo de los residuos sólidos, recaerá en la persona prestadora del servicio de aseo.
		Decreto 838 de 2005	Presidencia de la República	7	Establece como instrumentos de planificación de la actividad de disposición final del servicio público de aseo los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - PGIRS - POT

					<ul style="list-style-type: none"> - Licencia Ambiental - RAS - Reglamento operativo
				9	Se establecen elementos a incluir en el reglamento operativo como: recolección, concentración y venteo de gases.
				19,10	La persona prestadora del servicio público de aseo deberá garantizar en la actividad complementaria de disposición final, durante la fase de operación, tales como: 7. Control de gases y las concentraciones que los hacen explosivos.
		Resolución 754 de 2014	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	9	Actas de reuniones, oficios o evidencias de la gestión realizada ante el municipio para involucrarse en la gestión del aprovechamiento de los residuos sólidos.
2.	Consumo de energía				
2.1	Consumo de energía	Ley 143 de 1994	Congreso Nacional	66	Recibos de energía donde se evidencie la implementación del programa de ahorro de energía en la empresa.

		Decreto 3683 de 2003	Presidencia de la República	15	Informes soportados donde se evidencie el uso de fuentes de energía alternativas desarrollados y empleados por la empresa.
		Resolución 180919 de 2010	Ministerio de Minas y Energía	6	Mantener indicadores actualizados sobre consumos de energía en la empresa para compararlos con las metas establecidas por el gobierno.
		Decreto Único Reglamentario 1073 de 2015	Presidencia de la República	2.2.3. 6.2.2, 4.2.	Fomentar el uso de energéticos eficientes, económicos y de bajo impacto ambiental en la empresa.
2.2	Prestación del servicio	Ley 142-Ley 143 de 1994	Congreso de Colombia	1,5,6	Definieron los lineamientos generales para la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica y el marco legal para el desarrollo de la regulación sectorial por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).
3.	Ruido				
3.1	Generación de ruido y emisiones	Decreto 948 de 1995	Presidencia de la República	73	Permiso de emisión atmosférica las descargas de humo, gases, vapores, polvos o partículas por ductos o chimeneas de

	atmosféricas				establecimientos industriales, comerciales o de servicios.
		Resolución 610 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2,6	Informes sobre contaminantes criterio y Declaración de los niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire.
		Resolución 627 de 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2,17	Informes periódicos sobre valoración del nivel de presión sonora en la empresa a diferentes horas del día.
4.	Agua residuales				
4.1	Generación de agua residuales	Decreto 2667 de 2012	Presidencia de la República	1,2	Aplica siempre y cuando se realicen vertimientos directos sobre el recurso hídrico; no en alcantarillados; si aplica se elaborarán informe donde se determine la carga contaminante

					base para el cálculo de la tasa retributiva.
		Decreto 631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Toda	Informes de gestión sobre manejo y tratamiento de vertimientos de la empresa.
5. Consumo de agua					
5.1	Consumo de Agua	Decreto 2811 de 1974	Presidencia de la República	9	Programa de ahorro y uso eficiente del agua de la empresa, debidamente divulgado y en implementación.
		Ley 9 de 1979	Congreso Nacional	Toda	Informe sobre condiciones sanitarias y consumo de agua en la empresa.
		Ley 373 de 1.997	Congreso de la República	3	Programa de ahorro y uso eficiente del agua de la empresa, debidamente divulgado y en implementación.
		Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015.	Ministerio de Ambiente, Vivienda	2.2.9. 6.1.1	Informes periódicos sobre consumos de agua en la empresa, para determinación del valor a pasar por tasa de utilización de agua.

			y Desarroll o Territoria l		
--	--	--	--	--	--

Fuente: Autor, 2020.

9.3.4 Política de Gestión Ambiental.

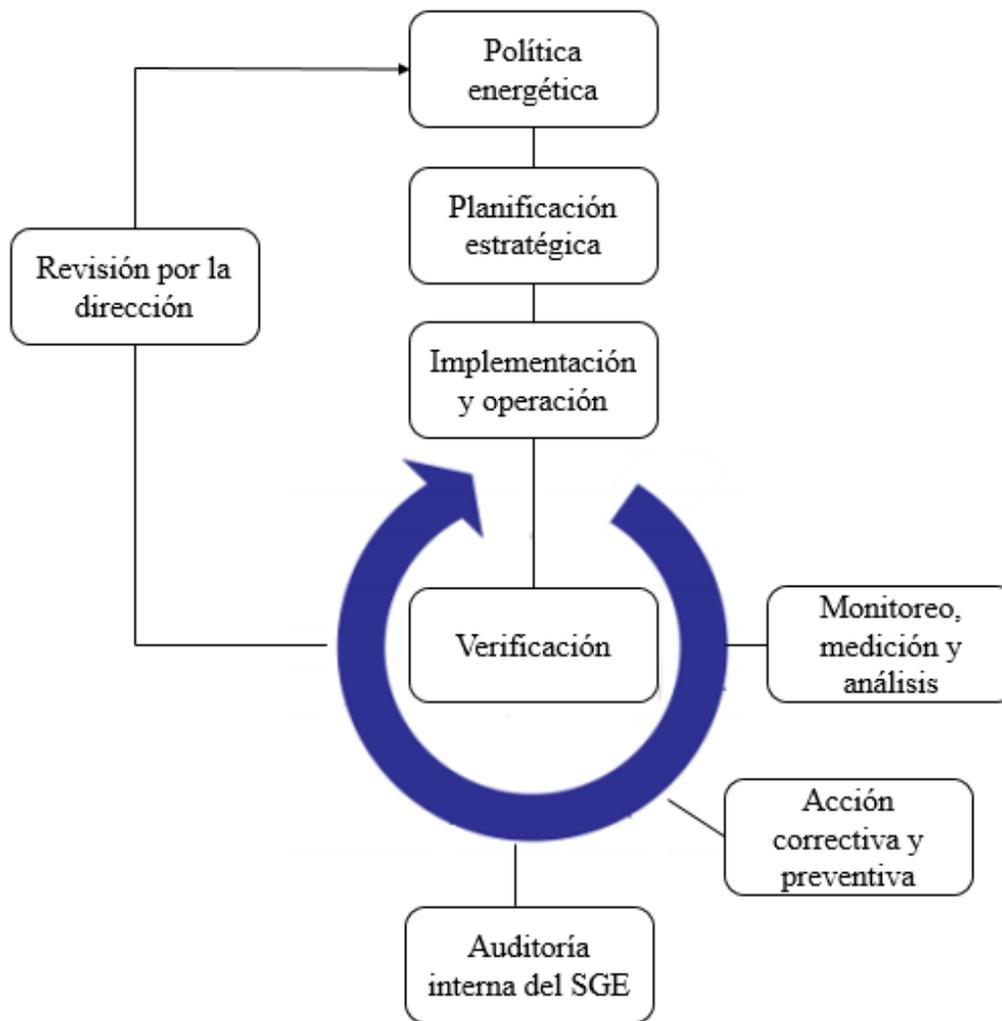
La empresa E&F ENERGY S.A.S haciendo parte del sector público, se proyecta a tener en cuenta la integridad de la dinámica social y ambiental del territorio, tomando como base el plan estratégico de forma articulada con la normatividad legal vigente, con el fin de prevenir y reducir en gran medida los impactos ambientales negativos, enfocando sus esfuerzos con miras de ser un eje de desarrollo sostenible.

9.3.5 Paradigma en el que se enmarcará la Gestión Ambiental de la Organización.

Las acciones del Sistema de Gestión Ambiental se enmarcarán en el paradigma de la Gestión Ambiental Integrada, promovida por la Organización Internacional de Normalización (ISO), en los años noventa, el que promueve la mejora continua en todos los procesos de la empresa, con un énfasis hacia el manejo de los recursos, insumos, e impactos, desechos-subproductos, generados en las distintas actividades de transformación.

El objetivo de una cultura de mejora continua, es apoyar un viaje continuo hacia el logro de la visión organizacional mediante el uso de retroalimentación de desempeño, como se muestra en la Figura 41. Existen dos componentes principales para el logro de la mejora continua: el monitoreo y el ajuste. El monitoreo es acerca de la medición y el rastreo. Se mide lo que importa y se rastrea el progreso. El ajuste es acerca del cambio, (Guerra, 2007).

Figura 42. Mejora continua de la organización productiva, con base en la norma ISO 50001 para Colombia.



Fuente: Autor, 2020.

9.3.6 Programas, subprogramas y proyectos.

Con base en el análisis del ciclo de vida, la evaluación de los impactos ambientales del proyecto, se presenta en la Figura 42 la síntesis de los programas de gestión ambiental definidos, y en la Tabla 43 se complementa la propuesta con el listado de subprogramas, proyectos, objetivos, indicadores y resultados esperados, a partir de los cuales se realizará el posterior monitoreo y

seguimiento a la gestión ambiental de la organización empresarial E&F ENERGY SAS que se plantea.

Figura 43. *Programas de Gestión Ambiental para la organización E&F ENERGY SAS.*



Fuente: Autor, 2020.

Tabla 43. *Plan de Acción de Gestión Ambiental para organización productiva E&F ENERGY SAS.*

Programas	Subprogramas	Proyectos	Objetivos	Indicadores	Resultado
Aprovechamiento energético de residuos urbanos - EnRes	Manejo integral de residuos ordinarios	Aprovechamiento de residuos	Presentar las tecnologías de biogás para la generación de energía como	Emisiones de CO ₂ evitadas directa e indirectamente.	Beneficios económicos, evitar emisiones GEI, producción

			parte de la estrategia nacional para la gestión integrada de residuos municipales.	Capacidad instalada de generación de electricidad. Volumen anual de electricidad producida. Número de personas beneficiadas de la tecnología instalada.	n energética, capacidad instalada.
Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás formas de Energía No Convencionales – PROURE	Accesibilidad	Promoción del uso de Fuentes No Convencionales de Energía.	Promover el Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencional es, que contribuya a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad	Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales. Porcentaje de energías renovables	Acceso a fuentes de energía renovable.

			d de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales.	en la energía y electricidad.	
Más calidad, menos impacto	Reducción y descontaminación atmosférica	Control de calidad del aire	Ayudar a reducir emisiones y promover el desarrollo sostenible.	Huella de carbono Emisiones de CO ₂ evitadas directa e indirectamente.	Contribución a la meta establecida dentro de la CMNUCC de reducción del 20% de los GEI al año 2030.

Fuente: Autor, 2020.

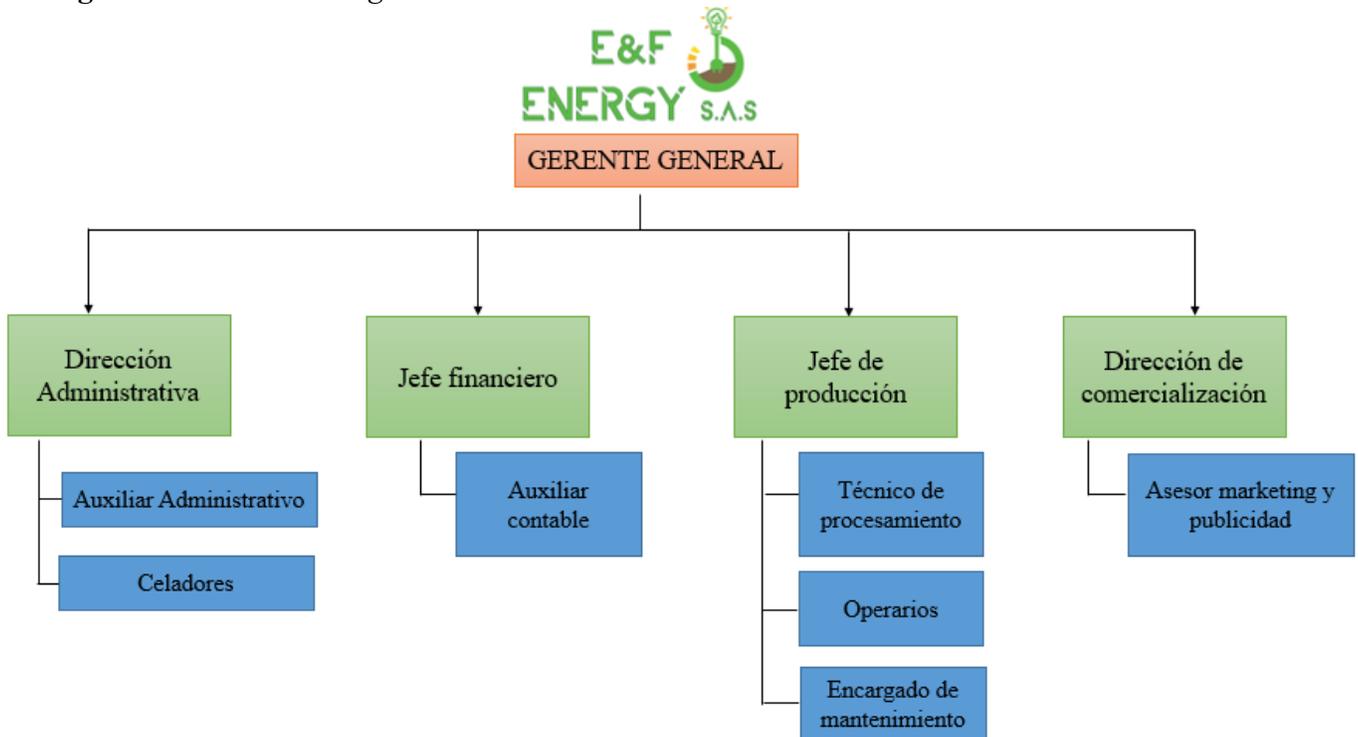
10. Propuestas de optimización con enfoque ambiental del sistema de gestión empresarial

En este apartado, se presentan las propuestas que se sugieren para optimizar los procesos de aprovechamiento del biogás a energía en el relleno sanitario El Carrasco, iniciando por la definición de una estructura organizacional concisa, responsable de gestionar todo un plan estratégico que incluya todo el ambiente de comercializar energía.

10.1 Definición de la estructura organizacional

La organización pertenece al tipo Sociedad Anónima Simplificada, S.A.S esta tiene como sede principal la ciudad de Bucaramanga, Santander. El personal se encuentra organizado de la siguiente manera:

Figura 44. Estructura organizacional



Fuente: Autor, 2020.

10.2 Misión

La misión se determinó de la siguiente manera:

La misión de *E&F ENERGY SAS*, persigue el desarrollo de proyectos especializados en el uso de energías renovables a partir de fuentes de combustión residuales, trabajando con el personal calificado para dar soluciones de manera eficiente y oportuna, partiendo de la base de la ética e integridad profesional, aplicación de nuevas tecnologías e innovación en los procesos; para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y a la sostenibilidad ambiental.

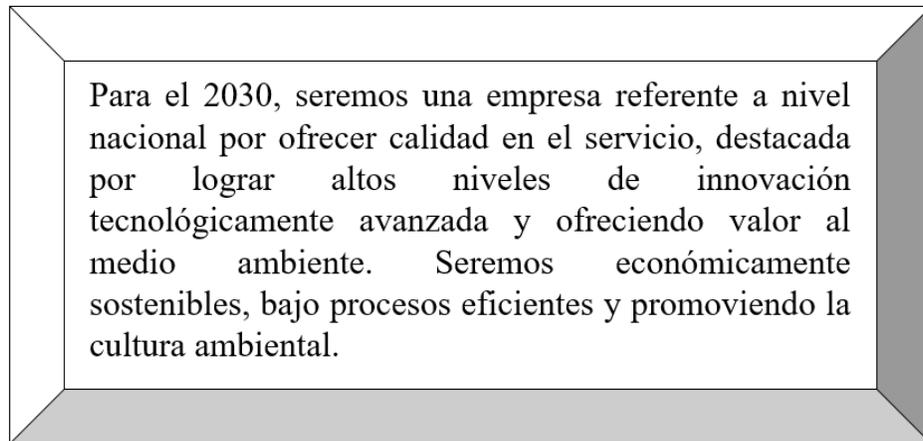
Colombia cuenta con un robusto marco normativo que busca reducir los impactos ambientales de las actividades de consumo que soportan el desarrollo económico.

El país ha realizado un esfuerzo para armonizar el desarrollo y el crecimiento de la economía con planes de acción sobre los efectos causados por las toneladas de desechos que se generan a diario; sin embargo, los efectos aún son intensivos en el manejo de los desechos y han generado impactos en las poblaciones aledañas a los rellenos sanitarios, que inciden tanto en su salud como en su desarrollo social y económico.

Este emprendimiento se basa en la implementación del sistema de recolección y tratamiento del *biogás*, para convertirlo en energía renovable óptima para su consumo; posteriormente ser comercializada a las electrificadoras de interés del municipio donde se esté realizando el proyecto o la creación de alianzas con otras empresas para su posterior venta.

10.3 Visión

Con el fin de proyectar la organización, se plantea que la visión estará enfocada inicialmente con alcance al año 2030, quedando así:



10.4 Valores

Los valores organizacionales representan las convicciones o filosofía de la alta dirección que conducirá al éxito empresarial, considerando los siguientes:

Responsabilidad: Frente a los procesos que se generan y su papel con la naturaleza.

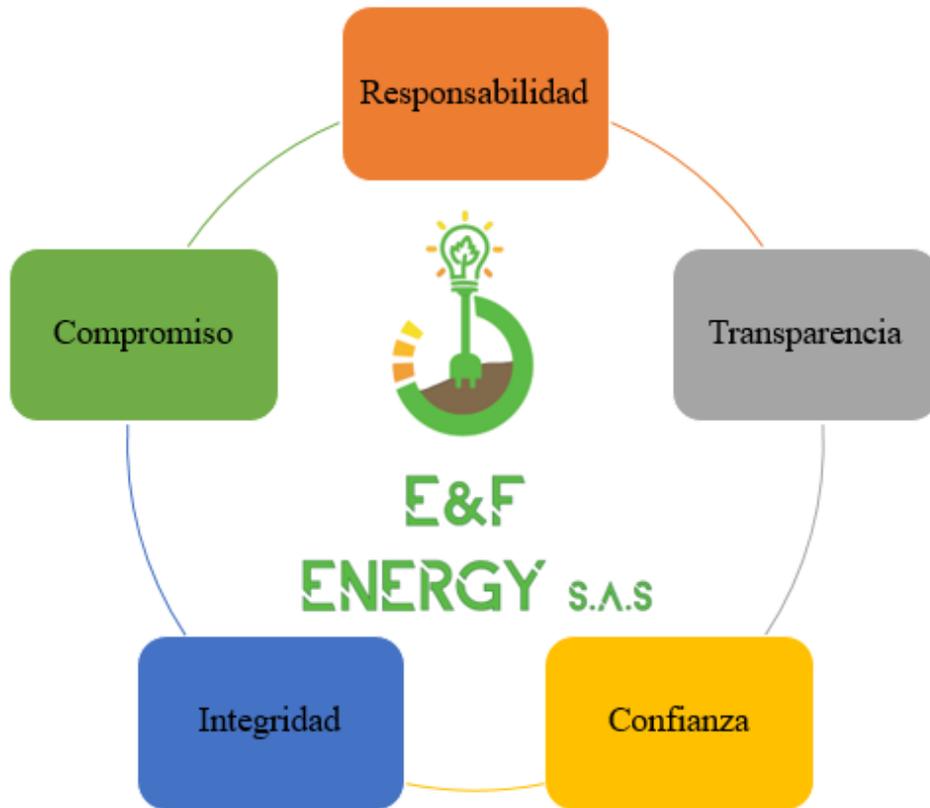
Transparencia: No existe espacio para la corrupción.

Confianza: Generar confianza en la comunidad.

Integridad: Se reconoce la importancia de todos los Stakeholders relacionados con el proyecto de biogás.

Compromiso: Compromiso con los ideales propuestos, sueños y objetivos de desarrollo.

Figura 45. Valores de la organización empresarial *E&F ENERGY S.A.S.*



Fuente: Autor, 2020.

10.5 Objetivos estratégicos

Para la empresa *E&F ENERGY SAS*, se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos estratégicos, los cuales se basan en la misión, visión y valores organizacionales y poder determinar las acciones y medios que se ejecutarán para cumplirlos.

Tabla 44. *Objetivos estratégicos de la organización.*

Dimensión	Económico	Social	Ambiental
Perspectiva			
Financiera	Aumentar la rentabilidad	Disminuir las emergencias sanitarias	Proyecto Mecanismo Desarrollo Limpio
Clientes	Garantizar calidad en el servicio ofertado	Incrementar la satisfacción de los clientes	Mejorar la imagen corporativa.
Capacidades Estratégicas	Generar valor agregado al biogás que se genera en el relleno sanitario	Incrementar la seguridad en los procesos operacionales.	Controlar y reducir los impactos operacionales
Aprendizaje y crecimiento	Promover el desempeño del personal para aumentar la productividad y la eficiencia.	Incrementar una cultura ambiental en la comunidad aledaña al relleno sanitario.	Promover la cultura de medición del impacto o de la solución ambiental que se propone.

Fuente: Autor, 2020.

10.5.1 Plan Estratégico Empresarial

En este apartado, se propone un plan estratégico acorde con la sociedad empresarial propuesta, iniciando con un diagnóstico de los aspectos más relevantes con los cuales se estructuró la matriz DOFA en la que se consignaron las debilidades y fortalezas internas, y las oportunidades y amenazas externas. A partir de este análisis se proponen las estrategias de reorientación, estrategias defensivas, estrategias de supervivencia, y estrategias de ataque a emprender por parte de la

organización siguiendo la metodología CAME descrita en el subcapítulo 6.3.2 del presente documento.

Tabla 45. *Acciones propuestas para corregir las debilidades*

Debilidades detectadas	Acciones propuestas
<p>a) Se requiere una alta inversión de los insumos necesarios, especialmente para aplicar tecnologías que conviertan el biogás en energía.</p>	<p>Gestionar el proyecto ante organismos nacionales e internacionales para los recursos necesarios para el montaje de la planta generadora de energía.</p> <hr/> <p>Adquirir créditos de fomento, mediante entidades estatales de promoción empresarial.</p> <hr/> <p>Alianzas con inversionistas/Fabricantes de equipos extranjeros para la inversión en equipos de generación.</p>
<p>b) La generación de energía a partir de residuos orgánicos es ligeramente costosa, en comparación con la quema de los residuos.</p>	<p>Promover y desarrollar un programa de capacitación sobre los beneficios de aprovechar los residuos en energía.</p>
<p>c) Falta de reconocimiento de la importancia del concepto de generación verde por parte de los consumidores.</p>	<p>Fidelizar el consumo de energía verde, mediante campañas y concientización del cliente.</p>
<p>d) Problemas en la importación de la energía con la Electrificadora de interés.</p>	<p>Fomentar el uso de la energía que es producida en el relleno sanitario.</p>
<p>e) El aprovechamiento que se le hace al biogás es quemarlo por medio</p>	<p>Promover el uso de tecnologías para aprovechar el biogás en energía renovable.</p>

de unas chimeneas, lo cual no es ambientalmente sostenible.

Fuente: Autor, 2020.

Estrategias de Supervivencia: Afrontar - Amenazas (A-M).

Tabla 46. *Acciones propuestas para afrontar las amenazas detectadas.*

Amenazas detectadas	Acciones propuestas
a) Fuerte posicionamiento de marcas competidoras en el alquiler de equipos de generación.	Ofrecer servicio integral de generación y suministro de biogás a todo costo, para satisfacer las expectativas de los clientes.
b) Alta presencia de competidores informales en la recolección y clasificación de residuos sólidos.	Crear organizaciones formales para la recolección y clasificación, realizando alianzas con grupos de interés del sector del reciclaje. Participar en el proceso de generación de combustibles limpios, mediante el suministro y organización empresarial de la cadena de valor para el suministro de residuos a las instalaciones procesadoras.
c) Posibles emanaciones de gas metano al ambiente por pérdidas.	Realizar una captación óptima de gas metano para garantizar la menor pérdida posible al ambiente.
d) Indisposición de la institución para llevar a cabo el proyecto.	Incentivar conciencia dentro de la institución encargada del relleno para mitigar los impactos que ha tenido la operación del relleno sanitario El Carrasco.

Fuente: Autor, 2020.

Estrategias Defensivas: Mantener - Fortalezas (M-F).

Tabla 47. *Acciones a desarrollar para mantener las fortalezas detectadas.*

Fortalezas identificadas	Acciones a desarrollar
a) Ingreso de inversores extranjeros para el aprovechamiento de residuos sólidos para la producción de combustibles.	Alianza estratégica con inversores en el negocio de manejo de rellenos sanitarios y generación de biogás y etanol, participando activamente en el suministro organizado de residuos sólidos.
b) La población afectada se beneficiará de este proyecto por la disminución de enfermedades y el suministro de energía.	Atender a las comunidades afectadas por los olores ofensivos.
c) Promoción creciente de una cultura ecológica en la sociedad.	Concientización por medio de campañas con las comunidades más afectadas.
d) Favorece las condiciones del medio ambiente al no arrojarse metano a la atmósfera, ayudando de esta manera a mitigar el cambio climático.	Promocionar el uso de la tecnología como fuente de energía renovables y así dejar de quemar el gas mediante las chimeneas.

Fuente: Autor, 2020.

Estrategias de Ataque: Explotar - Oportunidades (E-O).

Tabla 48. *Acciones a desarrollar para explotar las oportunidades identificadas.*

Oportunidades detectadas	Acciones a desarrollar
a) El relleno no cuenta con una planta para la generación de energía eléctrica.	Promover la instalación y operación de una planta de electricidad con el biogás que se produce en el relleno sanitario.

b) El relleno cuenta con un alto porcentaje de materia orgánica para generar biogás.	Aprovechar el alto contenido de materia orgánica para utilizarlo en la planta de energía.
c) Riesgo de fuego y posible explosión dentro del relleno.	Mejorar las operaciones y actividades técnicas dentro del relleno para así disminuir el riesgo de incendios y deslizamientos.
d) Olores ofensivos que afectan a los operadores del relleno y a las poblaciones aledañas.	Acercamiento por parte del relleno hacia la comunidad para crear canales de comunicación donde las dos partes sean beneficiadas con la generación de energía.
e) Aumento de la cantidad de vectores dentro del relleno sanitario.	Aumentar la calidad de vida de las personas aledañas al relleno por disminución de vectores.

Fuente: Autor, 2020.

10.5.2 Análisis de la ventaja competitiva.

Como parte del diagnóstico empresarial se deben definir los elementos que componen la ventaja competitiva para la organización. A continuación, se presentan esos elementos que caracterizan a la compañía.

Tabla 49. *Análisis de la ventaja competitiva.*

ELEMENTOS	DESARROLLO
CAPITAL HUMANO	Capital humano avanzado en ciencia, tecnología y emprendimientos energéticos, para enfrentar los desafíos en forma eficiente, que contribuyan a la planificación y desarrollo de la planta transformadora de energía.

<p>CAPITAL TECNOLÓGICO</p>	<p>La empresa promoverá el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las cuales son un elemento fundamental para que haya un desarrollo más productivo, que haya una comunicación eficaz, mayor productividad y dando así una mejor visibilidad al servicio que se ofrece.</p> <p>Además, a través del uso de softwares se podrá manejar la contabilidad de la empresa, llevar un control de procesos y manejar la información para la toma de decisiones gerenciales.</p>
<p>CAPITAL ORGANIZACIONAL</p>	<p>Este capital contiene todas las acciones relacionadas con el personal idóneo para la optimización de procesos, el cual tendrá su respectiva estructura y así establecer el rol de cada actor en la organización. También, es importante incentivar las acciones encaminadas a sensibilizar a los actores de la organización con las políticas, misión, visión y objetivos, con la finalidad de lograr procesos estratégicos, buena comunicación y la participación de las partes interesadas para finalmente cumplir con éxito las necesidades y expectativas que requiere el cliente.</p>
<p>PROCESOS CLAVES</p>	<p>a) <i>Acopio y almacenamiento de materia prima:</i> La calidad de la materia prima se obtiene mediante un proceso de pre-tratamiento, que busca acondicionar la materia prima para obtener mejores rendimientos de aprovechamiento del biogás. Luego de esto, el biogás posee distintos gases contaminantes que no son los adecuados para fines energéticos los que deben ser separados de la mezcla de gases para poder ser utilizado, mediante un proceso de post-</p>

	<p>tratamiento y finalmente darle el uso energético mediante la co-generación.</p> <p>b) <i>Transformación y producción:</i> La organización analizará la transformación de la materia prima con la realización de análisis de riesgos y puntos de control críticos, además de definir un contexto para la posterior evaluación del proyecto, decidir las especificaciones del producto a comercializar, desarrollar la ingeniería conceptual de la planta de producción de biogás, evaluar el proyecto y recomendar cambios para adaptar el proyecto a otros contextos.</p> <p>c) <i>Aseguramiento de calidad e inocuidad:</i> La organización deberá garantizar el cumplimiento de los requisitos de inocuidad y seguridad de la planta transformadora de biogás a energía.</p> <p>d) <i>Mercadeo y comercialización:</i> El modelo de negocios a seguir para un proyecto de biogás, dependerá de los factores de éxito descritos anteriormente. Es por esto, que la organización definirá el segmento de clientes, la propuesta de valor, canales de distribución y la relación con el cliente más apropiados para comercializar el producto nacional e internacional.</p>
CLIENTES	Los esfuerzos que la organización desarrolle a nivel de la relación con los clientes, permite conocer las necesidades

	del cliente a fondo, para poder ofrecer la alternativa tecnológica que mejor se adecúe.
FACTOR DIFERENCIADOR	El factor innovador de este emprendimiento es la aplicación de la herramienta automatizada “modelo colombiano de biogás” creado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de Estados Unidos, cuyo propósito es brindar a los propietarios y operadores de rellenos sanitarios una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios de recuperar y usar el biogás generado.

Fuente: Autor, 2020.

10.6 Plan Operativo

Figura 46. Esquema del Plan Operativo



Fuente: (Romero, 2019).

Realizar una gestión óptima de los procesos y gerenciar de manera sólida y efectiva la organización permite obtener los mejores resultados para la misma, para eso se establece el siguiente plan operativo:

Tabla 50. Plan operativo de la organización.

COMPONENTES EMPRESARIALES	OBJETIVO	ESTRATEGIAS	TAREAS	INDICADORES
MATERIAS PRIMAS E INSUMOS SOSTENIBLES	Utilizar insumos sostenibles para la producción de energía.	Verificar mediante procesos de control, la entrada de materia orgánica a la planta generadora de energía.	Caracterización de residuos para garantizar un porcentaje de materia orgánica óptimo para generar energía.	Porcentaje de materia orgánica.
PRONÓSTICO Y TIPO DE MERCADO CON ENFOQUE VERDE	Gestionar el mercado energético en el cual se enmarca la organización.	Actualización constante de la información relacionada con el mercado.	Realizar constantes análisis de mercado objetivo y mercado latente, para ofrecer nuevos productos y mejorar los existentes.	Participación de ventas dentro del mercado.
PROVEEDURÍA Y TRANSPORTE LIMPIO	Promover el mantenimiento requerido de las plantas generadoras de energía.	Cumplir con certificados ambientales y operativos vigentes.	Desarrollar procesos de evaluación periódicos a los procesos de cumplimiento de realizar el respectivo mantenimiento.	-Cumplimiento del mantenimiento en porcentaje. -Cumplimiento de los tiempos.

INVENTARIO	Implementar un control eficiente sobre la entrada de biogás y la salida de energía.	Mantener un control eficiente y oportuno.	-Base de datos con el control realizado. -Coordinación entre las diferentes áreas de la organización.	Porcentaje del control.
CAPACIDAD REGULADA Y SUFICIENTE EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE	Satisfacer las necesidades del cliente	Establecer canales de comunicación con las partes interesadas de la organización.	Demostrar profesionalismo, utilizar estándares de medición, transmitir seguridad.	Índice de satisfacción
ESTRATEGIA DE LOCALIZACIÓN Y MANEJO RESPONSABLE DE LA INFRAESTRUCTURA	Garantizar que la planta generadora de energía se localice en un terreno con las condiciones adecuadas.	Estudios de planeación y diseño del terreno donde se ubicará la planta.	Implementar buenas prácticas tanto en la operación como en la mantenimiento de la infraestructura.	Mantenimiento realizado/Mantenimiento programado.
PRODUCCIÓN LIMPIA HUELLA ECOLÓGICA MÍNIMA	Gestionar la optimización de procesos.	- Aprovechar alto contenido del biogás que se genera en el relleno sanitario.	-Reducir las emisiones generadas -Realizar comparaciones de las emisiones generadas con la	Porcentaje de reducciones de CO ₂ y CH ₄ .

			chimenea y con la instalación de la planta.	
ENFOQUE EN EL PRODUCTO Y/O SERVICIO	Diseño del servicio que se ofrecer	Evaluar el entorno micro y macro de la organización.	-Análisis DOFA -Análisis CAME	Desempeño de las matrices.
ERGONOMÍA Y DISEÑO DE PUESTOS DE TRABAJO, SALUD EN EL TRABAJO	Promover espacios adecuados para los trabajadores.	Adecuación de la infraestructura	-Diagnóstico -Mejorar las condiciones de trabajo	Cantidad de trabajadores satisfechos.
PUBLICIDAD Y MANEJO DE MARCA	Dirigir y coordinar la marca de la organización.	-Promoción y divulgación -Implementar canales de comunicación	Buscar nuevos mecanismos para la publicidad y el manejo de la marca.	% de mercado abarcado.
MEJORAMIENTO CONTINUO	Revisar de manera continua todos los procesos organizacionales.	-Ajustar los problemas -Seguimiento, monitoreo y medición	-Aplicar las acciones correctivas.	Acciones correctivas / Acciones correctivas programadas
LOGÍSTICA Y TRANSPORTE EN EL SERVICIO O PRODUCCIÓN.	Gestionar una logística interna y externa para recibir la materia prima y coordinar de manera	Mantener una comunicación constante con el personal, clientes y proveedores.	Contar con los equipos que faciliten el movimiento de	Costo totales logísticos / Ventas totales de la compañía

	eficiente todos los procesos.		materiales y productos terminados.	
SIMBIOSIS INDUSTRIAL CON LA CULTURA Y EL ECOSISTEMA.	Promover el desarrollo sustentable para reducir a su mínima expresión el impacto ambiental generado por la contaminación de los residuos sólidos.	Mantener cultura ambiental con el entorno micro y macro.	-Uso racional de la energía -Aprovechamiento energético de los residuos -Control de calidad del aire	Encuesta de percepción
GESTIÓN DEL TALENTO HUMANO.	Administrar y gestionar de manera eficiente el capital humano.	Capacitación especial en el manejo de los equipos.	Desarrollar programas para la capacitación de los funcionarios.	Cantidad de población capacitada / Total de la población.
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	Innovar constantemente en los equipos utilizados para aprovechar la energía.	-Posicionamiento en el mercado -Mejoramiento continuo de los equipos.	-Revisión en datos de bases internacionales y nacionales	Porcentaje de tiempo dedicado a la innovación.
CONTROL Y SEGUIMIENTO	Seguimiento de los indicadores de gestión	Herramienta Balance Score Card	Desarrollo de la herramienta	Porcentaje de cumplimiento
PRESUPUESTO Y REGISTRO DEL MANEJO	Administrar de manera responsable, eficaz y	Auditoria interna y control de la contabilidad.	Informe financiero	Tasa Interna de Retorno (TIR).

DINERO RESPONSABLE EN FUNCIÓN DE LA MISIÓN	eficiente los recursos económicos.			
GESTIÓN AMBIENTAL	Implementar y administrar el sistema de gestión ambiental para la organización productiva.	Sistema de gestión ambiental	Identificar las oportunidades de mejora que disminuyan el impacto de las empresas sobre el medio ambiente.	Desempeño del Sistema de Gestión Ambiental.
CONTRATACIÓN Y CIERRE JUSTO	Contratación del personal, según los términos de ley.	Evaluación del talento humano.	Revisar perfiles en formación, experiencia, habilidades de acuerdo al cargo requerido.	Costo de contratación.

Fuente: Autor, 2020.

11. Indicadores del proyecto

Tabla 51. *Indicadores del proyecto.*

INDICADORES	ESTÁNDAR (META)	DIMENSIÓN DE LA CALIDAD	EXPECTATIVA DEL CLIENTE	CARACTERÍSTICA DE CALIDAD
Flujo eléctrico	100%	Calidad intrínseca	El cliente espera recibir su servicio de energía limpia a partir del biogás y según el planteamiento ofrecido.	La energía producida deber ser originada a partir de los residuos sólidos municipales que se disponen el relleno sanitario.
Satisfacción del cliente por infraestructura de entrega	100%	Entrega "Lugar"	Recibir su energía eléctrica directamente en el lugar (finca, estructura, terreno, etc.) acordado para ello	El espacio de entrega deberá estar adecuado previamente según acuerdos para la entrega de la energía eléctrica.
Hitos cumplidos según cronograma - Satisfacción del cliente por plazos pactados	Según obras internacionales similares (Plantas de energía eléctrica a	Entrega "Tiempo"	Recibir su flujo de energía eléctrica dentro de las instalaciones recibidas en los	Los tiempos o plazos de entrega estarán acorde a los estándares internacionales para adecuaciones e instalaciones de

	partir de biogás)		plazos pactados previamente.	infraestructuras energéticas con fuentes alternativas (Biogás).
Tasa de incremento del KWh	Tope de promedio de precios para energía a partir de fuentes renovables	Precio – Costo	Que la inversión vs el costo de la energía entregada sea beneficioso para el cliente, representando ahorro en sus procesos desde el mismo momento en que entra en funcionamiento.	Los precios dependen del costo de la energía (KWh) del año en curso.
Pruebas de testeo, mediciones de estrés, número de incidentes en el tiempo.	0 incidentes - Test aprobados 100%	Seguridad	El cliente espera que tanto la planta biodigestora como la planta de generación de energía cumplan con los estándares de seguridad pertinentes	Las plantas de generación cumplirán con los estándares de seguridad requeridos para su funcionamiento.
Satisfacción del cliente por su atención. Número de ventas al año	100% - Máximo posible	Atención	El cliente espera que se le brinde información clara acerca de los beneficios de las	Personal calificado y amable que conozcan bien el producto

			tecnologías para transformar energía a partir de fuentes renovables.	
--	--	--	--	--

Fuente: Autor, 2020.

12. Evaluación financiera de las propuestas de optimización

La evaluación financiera tiene una investigación profunda a cerca de los recursos necesarios para la determinación del flujo de fondos requeridos para desarrollar la propuesta de optimización que se planteó en los capítulos anteriores, con el objeto de determinar la viabilidad financiera de la misma.

12.1 Costos de Inversión

Para la propuesta de optimización se terminaron los siguientes costos de inversión, relacionados con los equipos para generar energía, las edificaciones y además se especifican las fuentes de financiación.

Tabla 52. *Costos de inversión para la implementación de la propuesta de optimización.*

Ítem	Cantidad anual	Precio Unitario	Costo anual
Edificaciones			
Movilización y gestión del proyecto	1	\$ 196.317.000	\$ 196.317.000
Construcción y preparación del lugar	1	\$ 181.775.000	\$ 181.775.000
Equipos			
Tanque de almacenamiento	1	\$ 140.726.749	\$ 140.726.749

Pasteurizador calentamiento	1	\$ 7.174.760	\$ 7.174.760
Pasteurizador enfriamiento	1	\$ 20.877.662	\$ 20.877.662
Digestor tanque	1	\$ 1.316.767.941	\$ 1.316.767.941
Digestor agitador	3	\$ 21.393.925	\$ 64.181.774
Filtro	1	\$ 351.040.544	\$ 351.040.544
Gasómetro	1	\$ 262.871.915	\$ 262.871.915
Absorbedor	1	\$ 123.906.911	\$ 123.906.911
Desorbedor	1	\$ 214.774.303	\$ 214.774.303
Enfriador	1	\$ 13.993.299	\$ 13.993.299
Equipo Cogeneración MCI	1	\$ 4.046.208.650	\$ 4.046.208.650
TOTAL			\$ 6.940.616.508

Fuente: Autor, 2020.

Tabla 53. Detalle Gastos Operacionales.

Item	Cantidad anual	Unidad	Precio Unitario	Costo Anual
MATERIAS PRIMAS				
Residuos	328.500	Ton	\$ 0	\$ 0
PERSONAL CONTRATADO				
Operarios	8		\$ 7.449.352	\$ 89.392.224
Jefe de planta	1		\$ 2.087.676	\$ 25.052.112
Encargado mantención	1		\$ 2.000.988	\$ 24.011.856
Servicio seguridad	4		\$ 5.504.772	\$ 66.057.264
GASTOS ADMINISTRATIVOS				
Gerente General	1		\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Dirección administrativa	2		\$ 2.000.000	\$ 4.000.000
Contador	1		\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Asesor marketing	1		\$ 2.000.000	\$ 2.000.000

Fuente: Autor, 2020.

Tabla 54. Fuente de financiación.

Fuente	Valor (\$)	%
Gobernación de Santander	\$ 2.227.937.899	32,1
Gobierno Nacional	\$ 1.651.866.729	23,8

Porcentaje ofrecido por la venta de derechos de emisión de CO ₂	\$ 2.831.771.535	40,8
Asociados-interesados (Inversionista)	\$ 229.040.345	3,3
Valor Total de la Inversión Inicial	\$ 6.940.616.508	100

Fuente: Autor, 2020.

12.2 Ingresos del proyecto

Con el objeto de evaluar los ingresos del aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica, se parte del supuesto de la venta de la electricidad, así como también los ingresos relacionados con la reducción de los GEI (es decir, la compra de reducciones de emisiones generadas por el proyecto).

Según European Union Allowance (EUA): derechos de emisión de CO₂ utilizados en el Esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea, el precio de los derechos de emisión del CO₂ ha pasado de los 24,50 euros por tonelada de CO₂ de principios del año 2020 a cerrar el mes de marzo en 17,55€/t, Sin embargo, para el proyecto se tomó como referencia el valor de los 24,50 euros por tonelada de CO₂, es decir, 106.059 pesos por tonelada de CO₂.

Ahora bien, los ingresos relacionados a la venta de energía eléctrica se muestran en la siguiente tabla:

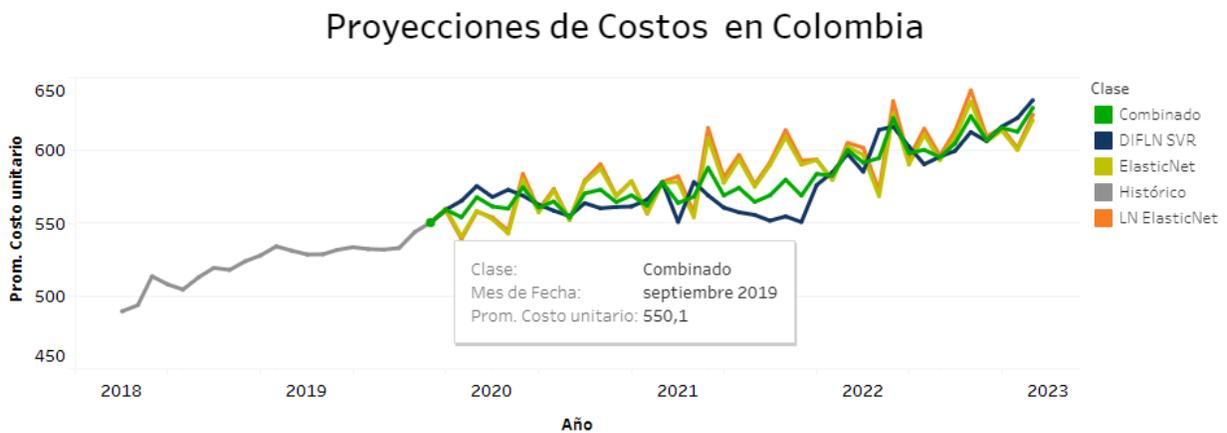
Tabla 55. Ingresos venta energía.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	
Tarifa	\$550	kWh
Potencia	500	kW
Horas funcionando	8.200	H
Producción anual	\$4.100.000	kWh
Venta	\$ 2.255.000.000	COP

Fuente: Autor, 2020.

Cabe resaltar, que el precio de la energía, es decir, de la tarifa, se tuvo en cuenta el valor nacional actual que se reporta en los informes de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) para el año 2019.

Figura 47. Cálculos del precio de energía eléctrica en Colombia.



Fuente: (UPME, 2019).

12.3 Estado de resultados

Tabla 56. *Flujo de caja del proyecto.*

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos venta energía		\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000
Ingresos venta reducción CO2			\$ 2.831.771.535					\$ 2.831.771.535			
Total ingresos		\$ 2.131.800.000	\$ 4.963.571.535	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 4.963.571.535	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000	\$ 2.131.800.000
Costos			\$ 938.065.890								
Salarios Personal		\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456	\$ 215.013.456
Mantenimiento		\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173	\$ 444.146.173
Energía Eléctrica		\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399	\$ 257.723.399
Agua		\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290	\$ 3.068.290
Glicol		\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572	\$ 18.114.572
Depreciación		\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651	\$ 694.061.651
Total costos		\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541	\$ 1.632.127.541
Utilidad operativa antes de intereses		\$ 499.672.459	\$ 3.331.443.994	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 3.331.443.994	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459
Gastos de Interés		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de impuestos		\$ 499.672.459	\$ 3.331.443.994	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 3.331.443.994	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459	\$ 499.672.459
Impuestos		\$ 149.901.738	\$ 999.433.198	\$ 149.901.738	\$ 149.901.738	\$ 149.901.738	\$ 149.901.738	\$ 999.433.198	\$ 149.901.738	\$ 149.901.738	\$ 149.901.738
Utilidad Neta		\$ 349.770.721	\$ 2.332.010.796	\$ 349.770.721	\$ 349.770.721	\$ 349.770.721	\$ 349.770.721	\$ 2.332.010.796	\$ 349.770.721	\$ 349.770.721	\$ 349.770.721
Flujo de Caja		\$ 1.043.832.372	\$ 3.026.072.447	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 3.026.072.447	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372
Inversión inicial	-\$ 6.940.616.508										
Flujo de caja libre	-\$ 6.940.616.508	\$ 1.043.832.372	\$ 3.026.072.447	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 3.026.072.447	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372	\$ 1.043.832.372
Acumulado	-\$ 6.940.616.508	-\$ 5.896.784.136	-\$ 2.870.711.689	-\$ 1.826.879.317	-\$ 783.046.945	\$ 260.785.427	\$ 1.304.617.799	\$ 4.330.690.246	\$ 5.374.522.618	\$ 6.418.354.990	\$ 7.462.187.362

Fuente: Autor, 2020.

12.4 Costo de Capital Promedio Ponderado

El Costo de Capital Promedio Ponderado CCPP o WACC por sus siglas en inglés *Weighted Average Cost of Capital*, se determinó con el objeto de descontar los flujos de caja futuros del proyecto y facilitar su valoración.

El costo de capital es la tasa con la cual los inversionistas proporcionarían financiamiento para el proyecto de presupuesto de capital que se está considerando hoy, es decir, la tasa de interés o también conocida como el costo de capital no es otra cosa que el precio que se paga por el uso del dinero prestado, ya que para que se genere interés (costo) es necesario que exista dinero para prestar, (Rugel, 2015).

La fórmula empleada para la determinación del CCPP se detalla a continuación:

Ecuación 11. Fórmula para la determinación del WACC o CCPP

$$WACC = Ke * \left[\frac{E}{E + D} \right] + Kd * (1 - T) * \left[\frac{D}{E + D} \right]$$

De donde:

Ke: Costo del Capital o Fondos Propios (Equity)

Kd: Costo de la Deuda Financiera

E: Capital o Fondos Propios

D: Deuda Financiera

T: Tasa impositiva

De acuerdo con lo anterior, la tasa de descuento estimada que para la propuesta de optimización presentada corresponde al Costo de Capital Promedio Ponderado (CCPP) se cuantificó en:



En la determinación de la CCPP se tuvo en cuenta que, el proyecto no se financiará con deuda, considerando que el financiamiento lo hará las empresas interesadas en el mismo y se crearán alianzas y convenios con la Gobernación de Santander, Gobierno Nacional, Inversionista y el porcentaje ofrecido por la venta de derechos de emisión de CO₂.

12.5 Tasa Interna de Retorno y Valor Presente Neto

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero, como un método alternativo para la determinación del rendimiento pro-medio en decisiones de inversión y financiamiento, (Milanesi, 2016).

El Valor Presente Neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos, (Mete, 2014).

Tabla 57. VPN, TIR del proyecto en mención.

Indicador	Valor
VPN	542.192.397
TIR	17%

Periodo de recuperación	4,8
-------------------------	-----

Fuente: Autor, 2020.

12.6 Perfil del VPN

Figura 48. Perfil VPN

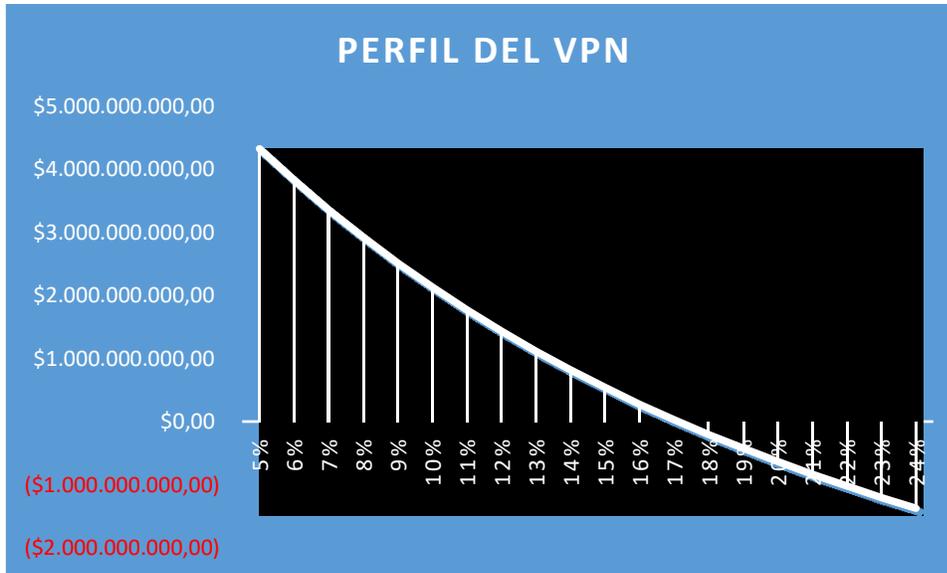


Tabla 58. Perfil VPN

WACC	VPN
5%	\$ 4.992.193.994,21
6%	\$ 4.459.303.997,37
7%	\$ 3.962.343.689,45
8%	\$ 3.498.330.507,37
9%	\$ 3.064.566.168,76
10%	\$ 2.658.606.541,05
11%	\$ 2.278.234.997,76
12%	\$ 1.921.438.826,39
13%	\$ 1.586.388.310,82

14%	\$ 1.271.418.160,73
15%	\$ 975.011.003,68
16%	\$ 695.782.692,23
17%	\$ 432.469.210,31
18%	\$ 183.914.990,69
19%	-\$ 50.937.521,18
20%	-\$ 273.057.200,63
21%	-\$ 483.332.601,06
22%	-\$ 682.579.445,27
23%	-\$ 871.547.348,48
24%	-\$ 1.050.925.858,14

Fuente: Autor, 2020.

13. Análisis de resultados

13.1 Análisis del diagnóstico ambiental del relleno sanitario El Carrasco.

De acuerdo con los resultados se puede analizar que el relleno sanitario El Carrasco ha estado sobrellevando las diferentes problemáticas técnicas que se han presentado a lo largo de la vida útil. En la actualidad el relleno está disponiendo sus residuos en la zona de contingencia, la cual hace parte de la celda 1 y contigua a la zona ZEM (zona de extracción de material).

La producción de residuos sólidos para el municipio de Bucaramanga demuestra una disminución desde la implementación del relleno sanitario hasta el año 2011, condición que no se muestra de este periodo en adelante cuando se evidencia una producción que duplica las cifras antecedentes, dado no sólo por el incremento poblacional sino también por el consumismo y la exigua práctica de reutilización, reúso y reciclaje. Así mismo, la PPC para el municipio disminuyó, debido que su producción también sufrió este efecto. En contraparte para los años siguientes la PPC aumentó notablemente pasando en el 2011 de 0,48 a 1,74 en el 2017.

Aunado a esto, la producción de residuos de diferentes municipios que disponen en El Carrasco presenta una relación directa entre la población y la PPC, ya que, si una aumenta por consecuencia la otra también, evidenciado principalmente en las ciudades. En contraparte, los municipios que se encuentran alejados del casco urbano se denotan una conducta de decrecimiento pues los habitantes migran hacia las grandes ciudades.

Por consiguiente, durante la investigación se pudo evidenciar que algunas prácticas como la cobertura de los residuos no cumple con una frecuencia diaria y esto sumado a condiciones meteorológicas (vientos y lluvias) tienen como consecuencia deslizamientos y producción de lixiviados. Teniendo en cuenta lo anterior, la producción de lixiviados es de gran preocupación para el relleno dado que existe un represamiento de estos por la poca eficiencia de los sistemas de subdrenaje y recolección, generando problemas graves de inestabilidad, lo cual de no ser tratado con la debida importancia podría ocasionar una catástrofe ambiental.

Para tal efecto, el vertimiento generado de la PTLX cumple satisfactoriamente con la norma de vertimientos Resolución 0631 de 2015, al obtenerse un efluente de buena calidad en términos fisicoquímicos, por cuanto los parámetros evaluados se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles en ella establecidos.

Según el registro diario del caudal afluente de la PTLX para determinar el lixiviado generado por el relleno sanitario el Carrasco, el caudal de operación de la planta en febrero de 2019 osciló en un rango de 2,44 a 2,7 L/s, siendo el caudal promedio aproximadamente 2,517 l/s. Teniendo en cuenta estos valores, el volumen total de lixiviado tratado en este periodo en la planta fue de aproximadamente 6.666 m³, lo cual en términos de caudal representa un alto contenido de lixiviados, (EMAB, 2019).

Por otra parte, los gases emanados del relleno presentan valores entre 6.374 y 5.644 dscf por hora, además, para el ducto 1 y 2 de la celda 1 los valores oscilan alrededor de 5.800 dscf/h, mientras que para los ductos 4, 6 de la celda 1 y el ducto 3 de la celda 2 oscilan entre 6.000 dscf/h y 6.200 dscf/h a diferencia del ducto 11 de la celda 2 que representa el más alto con un valor de aproximadamente de 6.400 dscf/h, mientras que los ductos 11 y 13 de la celda 4 registran los

valores más bajos, siendo el ducto 13 el valor más bajo con un valor de 5,600 dscf/h. En promedio la celda que presenta el menor caudal es la celda número 4, mientras que los caudales más altos, se presentaron en la celda 2.

De las evidencias anteriores, existe poca o ninguna información sobre las concentraciones máximas permisibles en cuanto al caudal del biogás, además para mantener riesgos aceptables en las personas y demás expuestos a este.

Ahora bien, los resultados del estudio de caracterización realizado en el 2016 que se encuentra en el PGIRS y los resultados que se encuentran en el estudio realizado por la EMAB para el año 2017, se denota que los residuos orgánicos (comida, poda, jardinería), han aumentado en un 4,3%.

Se puede evidenciar que los residuos de plástico han incrementado con respecto a los datos registrados en el PGIRS en un 13% aproximadamente, los residuos de papel y cartón han incrementado en un 7% con respecto al PGIRS, a diferencia del vidrio que para el año 2017 disminuye en un 0,5 % y lo mismo ocurre en el caso de los textiles que disminuye 1,7 % con respecto a los datos registrados en el 2016 por el PGIRS. En cuanto a la madera también se evidencia una reducción del 5% teniendo en cuenta que en esta categoría se encuentra residuos de madera, caucho, cuero, entre otros y para el caso de residuos de metales el porcentaje no presenta variación.

Con base en esta información, se puede evidenciar que el principal residuo que se dispone en el relleno sanitario son orgánicos dado a que Colombia es un país en vía de desarrollo siendo ésta una característica propia, lo cual hace que la producción de biogás aumente debido a su degradación, seguido por los residuos de plástico puesto que este país tiende al consumo excesivo de productos que contienen este residuo, sumado a que Colombia no asume la importancia del reciclaje.

Vinculado al concepto de las condiciones meteorológicas, la rosa de vientos en el área de influencia del relleno marca generalmente una tendencia de sur-occidente a sur-oriente, es decir, los olores más fuertes se perciben hacia Floridablanca, barrios El Porvenir, Dangond, Tejares y Manuela Beltrán, siendo los más afectados por la operación del relleno sanitario, reduciendo su

calidad de vida pues, con la producción de estos olores ofensivos se producen enfermedades respiratorias especialmente en niños, además, las poblaciones más afectadas son aquellas de bajos recursos que se encuentran en estado de vulnerabilidad.

Con base a los resultados obtenidos por el modelo la eficiencia de captura para el relleno sanitario El Carrasco es del 52%, estando dentro de los lineamientos establecidos por la EPA, la cual establece eficiencias de captura del 50% con un muy buen sistema instalado.

De acuerdo con la tabla de resultados arrojados por el modelo colombiano de biogás, se puede mostrar que la generación de biogás desciende a medida que no hay más disposición de residuos pasando de 555 m³/h en el año 2019 a 186 m³/h en el 2030.

La recuperación de biogás es la fracción de la generación de biogás que puede ser atrapada por el sistema de captura y que puede ser recuperado para combustión o uso benéfico utilizando la capacidad de la planta de electricidad. Así mismo, en el año 2020 alcanza la mayor cantidad de biogás de 551 m³/h que significa una capacidad máxima de la planta de electricidad de 0,9 MW y al 2030 se demuestra una disminución en un 78%, tomando la capacidad máxima (0,9 MW) como el 100%.

De acuerdo a lo anterior, para el año 2020, se estima reducir una cantidad de 1.727 toneladas de CH₄/año y 36.257 de CO₂eq/año, lo cual ayudaría a la meta establecida dentro de la Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC) de reducción del 20% de los GEI al año 2030.

La gráfica obedece a la fase del comportamiento de la composición en un relleno, en la medida en que se descompone la materia orgánica, igual el metano deja de producirse llegando al 2030 a 186 m³/h. Esto verifica que teoría se cumple en la práctica puesto que el comportamiento del biogás en un relleno sanitario va disminuyendo con el tiempo y luego en la fase de cierre se mantiene constante por un determinado tiempo hasta que el relleno cumple su vida útil y deja de emanar gases y lixiviados.

Igualmente, al prolongar los años en la gráfica hasta el 2077 que es el año máximo mostrado por el modelo, se evidencia que tanto la generación como la recuperación de biogás se mantiene constante con una generación de 7 m³/h, lo cual no se podría recuperar en energía.

13.2 Análisis de gestión empresarial de la organización productiva.

Los resultados del análisis PESTEL consolidado en el entorno macro de la organización productiva, presenta algunas ventajas que aporta al desarrollo de energías limpias en el país. En el factor político, resulta beneficioso que exista la regulación del Uso Racional de la Energía que respalde y ayude a fortalecer el proyecto, lo cual promueve el crecimiento de empresas que le apuestan a los productos verdes.

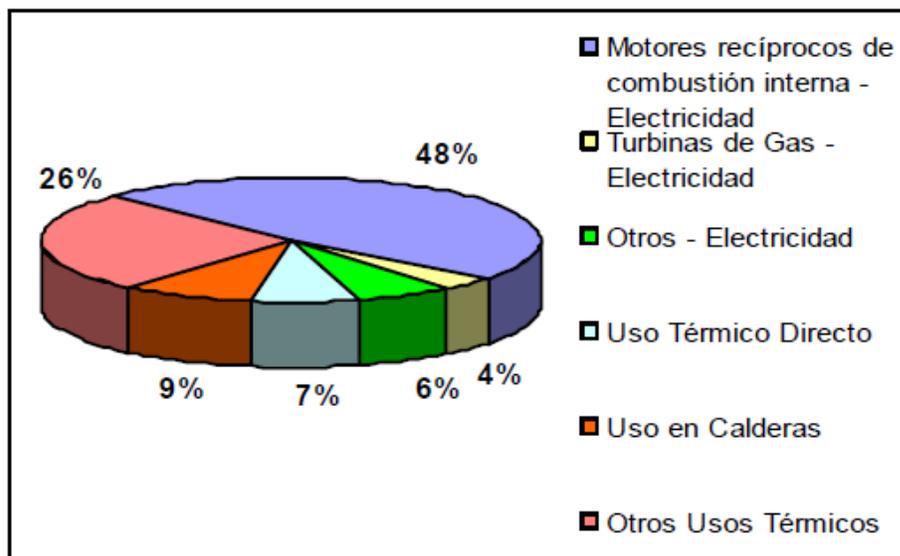
De acuerdo con el factor económico, a pesar del alto costo de las tecnologías, existe una exención para este tipo de proyectos por la fuente de financiación de vender derechos de emisión de carbono y con el apoyo de entidades gubernamentales, nacionales e internacionales crear una ayuda para el desarrollo del proyecto. De acuerdo con el factor tecnológico, a pesar de que el País no invierte un alto porcentaje en investigación y desarrollo, existen convenios con otros países para el desarrollo de altas tecnologías que aprovechen el biogás en energía, por ende, se puede ver como una ventaja la conexión y difusión que tenga el proyecto con otros países, por el gran desarrollo que tendría el país al adaptar este tipo de tecnologías.

Los resultados del análisis de las cinco fuerzas de Porter consolidado en el entorno micro de la organización productiva, indica que existe un alto poder de negociación de los clientes, es decir del relleno sanitario El Carrasco, debido a que al ser el único cliente potencialmente identificado, se deben crear una fuerte alianza con el mismo, además de la fuerte influencia que tiene en cuanto a los procesos de recolección y tratamiento de los residuos, los cuales conllevan a aportar la materia prima para los procesos de transformación del biogás a energía.

13.3 Análisis de la tecnología seleccionada para aprovechar el biogás en energía.

Según datos de la Environmental Protection Agency (U.S. EPA), menciona que dentro de las tendencias de los diferentes métodos usados para el aprovechamiento del biogás en EEUU, se denota que el comportamiento del aprovechamiento del biogás se dirige a procesos térmicos en un 33% y el restante 77% es usado como insumo en procesos de generación eléctrica, siendo la tecnología de motores de combustión interna (MCI), para generación eléctrica la más acogida con un 48% del total, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 49. *Alternativas de aprovechamiento del biogás.*



Fuente: (Flechas, 2006)

Al exponer las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías y teniendo en cuenta la capacidad que maneja cada una de las mismas, se seleccionó la tecnología denominada “Motores de Combustión Interna”. Esto debido a que los factores analizados permitieron establecer esta tecnología como la más adecuada para el proyecto de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado en el relleno sanitario El Carrasco.

Dentro de las ventajas mencionadas, se destaca que los MCI se consiguen en varios tamaños con salidas de energía entre 0,5 MW y 3MW por unidad. Tienen un costo de capital por kW comparativamente bajo y tienen mayor eficiencia (25-45%) que la mayoría de las turbinas a gas.

Por otra parte, el relleno sanitario genera un biogás que puede ir hasta el año 2030, es decir 10 años en que el relleno puede ofrecer energía a los barrios aledaños como lo son El Porvenir, Dangond, Tejares y Manuela Beltrán, lo anterior significa que con una capacidad de 0,9 MW se podría iluminar 6.667 viviendas hasta 1.481 viviendas con una capacidad de 0,2 MW.

Dado lo anterior, se establece que la población que no cuenta con energía eléctrica es alrededor de 6.608 habitantes, encontrándose en estado de vulnerabilidad; por tanto, se apunta a este tipo de estrategias con el fin de mejorar la calidad de vida.

13.4 Análisis de la ventaja competitiva

Como análisis empresarial se puede mencionar que, se resaltan aspectos relevantes en la cadena de valor por medio de las actividades primarias de recolección y disposición de los residuos sólidos, debido a que, es alrededor de esta actividad que dependen las demás actividades como tratamiento y aprovechamiento del biogás, usando este como suministro a las instalaciones procesadoras, los cuales son fundamentales para la eficiencia operativa.

Una actividad importante dentro de la ventaja competitiva, es el capital humano, ya que la gestión del talento humano tendrá un nivel de avance en tecnología altamente calificado, para entregar un servicio de calidad y lograr la optimización de procesos. Otro apoyo es el capital organizacional, en el cual se tiene claro hacia dónde se dirige la empresa y con qué propósito, definiendo de una manera muy concisa las políticas, misión, visión y objetivos, con la finalidad de integrar como un todo y lograr con buenas prácticas el desarrollo de la empresa.

La empresa representa ventaja competitiva en cuanto al desarrollo tecnológico y la innovación, dado que representa un alto nivel de tecnificación si se compara con los procesos que se hacen

tradicionalmente, como la quema del biogás. Esto representa una ventaja frente a las empresas competidoras, debido al grado de optimización y productividad.

13.5 Análisis del Plan de Gestión Ambiental

En cuanto al análisis del Ciclo de Vida, se identificaron los puntos críticos del proceso, es decir los factores ambientales más significantes para la organización; los cuales están asociados a los procesos de extracción de la materia prima, debido a que la mayor carga ambiental se encuentra sobre la recolección y disposición de los residuos sólidos, los cuales al no ser aprovechados adecuadamente generan altos porcentajes de contaminación.

De la evaluación ecológica y social mediante la matriz Leopold, se determinó que, de un total de 91 impactos, los positivos superan en número a los negativos, esto debido a impactos en cuanto a la disminución de riesgo de explosiones, mejoramiento de la calidad del aire, disminución de GEI, disminución de olores y en cuanto al componente social, generación de empleo, generación de expectativas y aumento de calidad de vida, por lo que se deduce que el proyecto es viable ambientalmente.

13.6 Análisis plan estratégico empresarial

En el análisis DOFA se concretan las diferentes acciones tanto internas como externas que favorecen o inhiben el buen funcionamiento del aprovechamiento del biogás. Así mismo, recomendar las acciones necesarias para corregir las debilidades, afrontar las amenazas, explotar las oportunidades y mantener o mejorar las fortalezas actuales hizo parte del análisis para plantear la propuesta de optimización empresarial.

Cabe resaltar que, dentro de las acciones propuestas para corregir las debilidades, se propone promover la instalación de una planta de electricidad, esto debido a que el relleno no cuenta con una y lo que se hace con el biogás es conducirlo mediante ductos hacia una chimenea.

En cuanto a las acciones propuestas para afrontar las amenazas detectadas, con este proyecto se quiere lograr que la institución encargada del relleno, en este caso, la EMAB, se interese por el proyecto para incentivar conciencia dentro de la misma, de los impactos que ha tenido la operación del relleno y así mismo lograr mejoras en la imagen corporativa por las diferentes emergencias sanitarias y sanciones ambiental que ha tenido en el transcurso del tiempo.

Dentro de las acciones a desarrollar para mantener las fortalezas detectadas, se logra aumentar la calidad de vida de la población aledaña al relleno sanitario y así mismo de los operadores por la disminución de olores y vectores, lo cual se propone incluir canales de comunicación para darle a conocer a la población los beneficios tanto ecológicos como sociales de aprovechar el biogás en energía.

Finalmente, para explotar las oportunidades identificadas se atenderá a las comunidades afectadas, esto debido a que se hace necesario disminuir las causas de muerte en niños menores de 1 año por enfermedades respiratorias. Además, concientizar a las comunidades a una cultura de reciclaje y cuidado con el medio ambiente.

13.7 Análisis financiero

La evaluación financiera se determinó mediante un proceso contable financiero en el cual se determinó la caja de flujo, considerando las variables necesarias para determinar el flujo de caja libre, el cual permite establecer con la tasa de descuento (WACC) el perfil de VPN y así demostrar mediante una gráfica, la rentabilidad el proyecto.

El flujo de caja indica que el proyecto es rentable según el indicador económico del valor actual neto, los indicadores económicos son iguales a un VAN [\$COP] 542.192.397, una TIR de 17% y un periodo de recuperación de la inversión de 4,8 años.

En el análisis de sensibilidad que se realiza de la variación del precio de la energía eléctrica, indica que estos parámetros afectan la rentabilidad del proyecto directamente al afectar los ingresos por la venta de la energía. Esto implica que al variar el precio de la energía o al tener una baja

significativa, el proyecto no tendría rentabilidad, sin embargo, el precio se ha ido incrementando al pasar de los años, pasando de [COP] 387,8 kWh en el año 2012 a [COP] 550,1 en el 2019, (UPME, 2019).

14. Conclusiones

Es posible concluir en primer lugar, que el objetivo general se cumplió a cabalidad al presentar el modelo de gestión empresarial ambiental del aprovechamiento del biogás, con base en los resultados obtenidos en los objetivos específicos, con el fin de mitigar los impactos planteados en el trabajo de investigación.

De acuerdo con el diagnóstico ambiental realizado, es posible afirmar que el relleno no ha avanzado con el paso de los años en términos ambientales, en el que se destaca su enfoque en la contribución a la producción de GEI. Sin embargo, el relleno ha dejado de lado aspectos relevantes que han limitado su crecimiento, al no dedicar mayores esfuerzos en evaluar alternativas viables que impliquen un mejoramiento ambiental, el cual es un aspecto fundamental para tener en cuenta por el amplio marco normativo colombiano y lo que podría suponer su incumplimiento.

La metodología implementada en el trabajo, permitió determinar que, gracias al uso de herramientas elaboradas por la EPA, se puede presentar estimaciones de las cantidades de biogás que se recuperan a partir de la producción de energía, siendo el modelo un aporte metodológico con la determinación de actividades específicas en un tiempo estimado, obteniendo resultados periódicos para establecer oportunidades de mejora.

Con el modelo de gestión empresarial ambiental se logra hacer una propuesta de optimización empresarial, la cual contempla la definición de la misión, visión, valores corporativos y objetivos de la organización empresarial que se plantea organizar para concatenar los esfuerzos de todos los actores y partes interesadas de la cadena de valor de los residuos sólidos, y propone como ejes estratégicos del plan de gestión empresarial el factor diferencial a través del cual se lograría la ventaja competitiva por la implementación de nuevas áreas de desempeño en términos de

tecnología y proyectos en los cuales se implemente la innovación y se invierta en nuevos servicios alternativos para la comunidad aledaña a los rellenos sanitarios; además de los procesos claves que se debe desarrollar, los lineamientos para la gestión de clientes, la gestión del talento humano, el capital organizacional, y las bases del capital tecnológico sobre los cuales debe priorizarse las acciones.

El estudio permite demostrar que financieramente es factible implementar el negocio de aprovechar el biogás en energía, como una alternativa ambientalmente viable, para disminuir los GEI, generación de alianzas estratégicas, generación de empleo, incluso para incursionar en el mercado de bonos de carbono; siempre y cuando se logre a vinculación de todas las partes interesadas.

15. Bibliografía

Aguilar, Q., Taboada, P., & Ojeda, S. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería 15-1*, 37-45.

Aguilar, Q., Taboada, P., & Ojeda, S. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería*, 15(1), 37-45.

Alcaldía de Bucaramanga. (2015). *Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS 2016-2027*. Obtenido de http://www.bucaramanga.gov.co/laruta/download/plan_integral_de_residuos_solidos/PLAN_DE_GeSTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_BUCARAMANGA_2016-2027_2.pdf.

Alcaldía de Bucaramanga. (2016). *Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS 2016-2017*. Recuperado el 11 de 04 de 2019, de http://www.bucaramanga.gov.co/laruta/download/plan_integral_de_residuos_solidos/PLAN_DE_GeSTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_BUCARAMANGA_2016-2027_2.pdf.

Alcaldía de Matanza. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal "Alianza para el progreso social"*. Recuperado el 20 de 02 de 2019, de https://matanzasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/matanzasantander/content/files/00083/4149_plandedesarrollomatanza20162019.pdf

- Alcaldía Municipal de Betulia. (2017). *Ajuste y Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Betulia Santander*. Recuperado el 20 de 03 de 2019, de PGIRS 2017-2027: http://betuliasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/betuliasantander/content/files/000045/2226_pgirs-betulia.pdf
- Alcaldía Municipal de California. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS-California-Santander*. Recuperado el 07 de 03 de 2019, de https://californiasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/californiasantander/content/files/000042/2092_pgirscalifornia2016actualizacinmontarapagina.pdf
- Alcaldía Municipal de Charta. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal "Credibilidad y Compromiso" 2012-2015*. Recuperado el 04 de 03 de 2019, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/chartasantanderpd20122015.pdf>
- Alcaldía Municipal de Lebrija. (Julio de 2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Lebrija*. Recuperado el 23 de 03 de 2019, de <http://www.lebrija-santander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Actualizaci%C3%B3n%20Plan%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf>
- Alcaldía Municipal de Suratá. (2012). *Suratá globalizado con equidad y sostenibilidad. Plan de desarrollo del municipio de Suratá 2012-2015*. Recuperado el 04 de 07 de 2019, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/surat%C3%A1santanderpd20122015.pdf>
- Alcaldía Municipal de Tona. (2016). *Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) Municipio de Tona Santander*. Recuperado el 11 de 01 de 2019, de http://tonasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/tonasantander/content/files/000066/3263_totalpgirs.pdf
- Andrade, A., Restrepo, A., & Tibaquirá, J. (2018). *Estimación de biogás de relleno sanitarios, caso de estudio: Colombia. Entre Ciencia e Ingeniería, 12(23)*.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. (28 de agosto de 2017). *Auto N° 03734. "POR EL CUAL SE ORDENA EL INICIO DE UN PROCEDIMIENTO SANCIONATORIO*

- AMBIENTAL*". Recuperado el 25 de 04 de 2019, de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/auto_3734_28082017_ct_2283.pdf
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. (2018). *Resolución N° 00297 de 2018*. Recuperado el 03 de 04 de 2019, de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_0297_02032018_ct_2501.pdf
- Aronica, S., Bonanno, A., Piazza, V., Pignato, L., & Trapani, S. (2009). Estimation of biogas produced by the landfill of Palermo, applying a Gaussian model. *Waste Management*, 29(1), 233-239.
- Beaufort, F. (2008). *Escala de viento Beaufort*. Recuperado el 12 de 04 de 2019, de <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>
- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico*. Recuperado el 18 de 03 de 2020, de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-capturado-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-Un-an%C3%A1lisis-te%C3%B3rico-pr%C3%A1ctico.pdf>
- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. *Banco Interam. Desarro*, 52. Recuperado el 14 de 03 de 2020
- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. *Banco Interam. Desarro*, 52.
- Bocanegra, C., & Vázquez, M. (2010). El uso de tecnología como ventaja competitiva en el micro y pequeño comercio minorista en Hermosillo, Sonora. *Estudios fronterizos*, 11(22), 207-229.
- Borda, C. (2016). *Biogás: una alternativa energética para los rellenos sanitarios urbanos y un beneficio mitigador de cambio climático*. Recuperado el 25 de 06 de 2019, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15271/BordaPerezCarlosGeovanny2016.pdf?sequence=1>
- Camargo, Y., & Vélez, A. (2009). *Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios*. Obtenido de In II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Colombia.

- Carrascal, K., & Carrascal, S. (2012). *Sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco y la afectación a derechos fundamentales y colectivos*. Recuperado el 20 de 04 de 2019, de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2086/digital_24593.pdf?sequence=1
- Carrasco, J. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos*. Recuperado el 11 de 08 de 2020, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-de-una-planta-de-biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CEPPIA. (2004). *Manual "Introducción a la Gestión Ambiental Municipal"*. Recuperado el 11 de 03 de 2019, de <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/PLANIFICACION-Y-GESTION%20AMBIENTAL/Manual-de-Introduccion-a-la-Gestion-Ambiental-Municipal.pdf>
- Claver, E., Llopis, J., Molina, H., Conca, F., & Molina, J. (2000). La tecnología como factor de competitividad: un análisis a través de la teoría de recursos y capacidades. *Boletín de estudios económicos*, 119-138.
- Collazos, H. (1988). *Residuos sólidos*. Bogotá: FUNPIRS. Recuperado el 23 de 04 de 2019
- Colmenares, W., & Santos, K. (2007). *Generación y manejo de gases en sitios de disposición final*. Recuperado el 21 de abril de 2019, de <http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/relleno-sanitario.pdf>.
- Concejo Municipal de Bucaramanga. (2012). *Respuesta proposición N° 43 de fecha 03-07-2013. Radicado 2042*. Recuperado el 11 de 02 de 2019, de http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/RESPUESTAS_2_PROPOSICION_00000000000043_%202013.pdf
- Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES. (2016). *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*. Recuperado el 1 de 04 de 2020, de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/conpes/7f-Conpes%20No.%203874-2016.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES. (15 de Marzo de 2018). *ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*

- (ODS) EN COLOMBIA. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Contreras, L. (2012). *Evaluación ambiental ex-post del sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco en el municipio de Bucaramanga-Santander*. Recuperado el 22 de 04 de 2019, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/753/1/27886.pdf>
- Corena, M. d. (2008). *Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Obtenido de Universidad de Sucre. Departamento de ingeniería civil: <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2005). *Proyecciones de población municipales por área*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2018). *Proyecciones de población municipales por área*. Recuperado el 23 de 11 de 2019, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Dannecker, C., Giraldo, V., & Plata, A. (2016). *El Mercado de Carbono en Colombia: elementos de diseño para lograr su eficiencia*. Recuperado el 08 de 07 de 2020, de http://cambioclimatico.minambiente.gov.co/images/iNDC_espanol.pdf, consultado el, 2.
- Díaz, H., García, R., & Mancilla, N. (2008). Las Pymes: costos en la cadena de abastecimiento. *Revista escuela de administración de negocios*, 63, 5-21.
- Díaz, L., Buenrostro, O., Mañón, M., & Hernández, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero en dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18(2), 149-159. Recuperado el 12 de 05 de 2019
- Echeverri, C. (2006). *Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia)*. Obtenido de <file:///D:/Usuario/Downloads/236-Texto%20del%20art%C3%ADculo-887-1-10-20110823.pdf>
- Empresa de Aseo de Bucaramanga EMAB. (2018). *Informe de Actividades N.º.36. Bucaramanga: Disposición final consorcio*. Recuperado el 11 de 04 de 2019
- Empresa de Aseo de Bucaramanga EMAB. (2019). *Informe N.º. 37 de operación y mantenimiento de la PTLX. Bucaramanga*.

- EPA Agencia de Protección Ambiental. (2009). *Manual de usuario Modelo Colombiano de Biogás*. Recuperado el 11 de 02 de 2019, de <https://globalmethane.org/documents/models/pdfs/ManualdeUsuarioModeloColombiano.pdf>
- EPA Agencia de Protección Ambiental. (2009). *Manual del usuario Modelo Colombiano de Biogás*. Recuperado el 27 de Mayo de 2019, de <https://globalmethane.org/documents/models/pdfs/ManualdeUsuarioModeloColombiano.pdf>
- EPA, Agencia de Protección Ambiental (1996). *Turning a Liability into an asset: A Landfill Gas-to-energy Project Development Handbook*. USA Environmental Protection Agency-EPA. Recuperado el 21 de abril de 2019
- EPA, Agencia de Protección Ambiental (1996). *Turning a Liability into an asset: A Landfill Gas-to-energy Project Development Handbook*. USA Environmental Protection Agency-EPA.
- Escuela de Negocios. (2020). *Análisis de producto*. Recuperado el 11 de 10 de 2020, de <https://br.escueladenegociosydireccion.com/business/marketing-ventas/analisis-de-producto/>
- Elesctrificadora de Santander SA. (2020). *INFORME A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER, NORTE DE SANTANDER, SUR DEL CESAR, BOLIVAR Y BOYACA*. Recuperado el 11 de 07 de 2020, de https://www.essa.com.co/site/Portals/0/documentos/mi-factura/tarifas/2020/Tarifa_ESSA_202011.pdf
- Flechas, J. (2006). *Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento y/o destrucción térmica del biogás del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá DC, aplicando el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de kyoto*. Recuperado el 11 de 08 de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11011>
- Flechas, J. (2006). *Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento y/o destrucción térmica del biogás del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá DC, aplicando el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de kyoto*. Recuperado el 9 de 11 de 2019, de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11011>
- Flórez, J. (Octubre de 2018). *Monitoreo de biogás –sitio de disposición final “El Carrasco” en la ciudad de Bucaramanga –Santander*. Recuperado el 27 de 01 de 2019

- Franco, L., Meza, M., & Almeida, J. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso relleno sanitario El Carrasco (revisión). *Avances: Investigación en ingeniería*, 15(1), 180-193. Recuperado el 10 de 03 de 2019
- Gobernación de Santander. (2017). *Departamento de Santander*. Recuperado el 13 de 04 de 2020, de <http://www.colombiamania.com/departamentos/santander.html>
- Godoy, J., & Matallana, J. (2013). *Formulación del sistema de gestión ambiental en el marco de la norma ISO 14001 para la empresa Línea Médica de Ambulancias SAS*. Recuperado el 11 de 09 de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11324/PROYECTO%20FORMULACION%20DEL%20SGA%20PARA%20LA%20EMPRESA%20L%20M%20MEDICA%20DE%20AMBULANCIAS%20SAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, J. (08 de febrero de 2016). *CEREM International Business School*. Recuperado el 11 de agosto de 2020, de <https://www.cerem.es/blog/has-hecho-alguna-vez-un-dafo-personal>
- Gómez, R., & Filigrana, P. (2008). Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*, 39(3), 245-252.
- Gómez, V. (2019). *Matriz de Leopold: Para qué sirve, ventajas, ejemplos*. Recuperado el 15 de septiembre de 2020, de <https://www.lifeder.com/matriz-de-leopold/>
- González, J. (2014). *Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultado de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- González, R. (2005). *Control del aprovisionamiento de materias primas*. Paraninfo.
- González, R. (2005). *Control del aprovisionamiento de materias primas*. Editorial Paraninfo.
- Guerra, I. (2007). *Evaluación y Mejora Continua: Conceptos y Herramientas Para La Medición y Mejora del Desempeño*. Recuperado el 15 de 07 de 2020, de https://books.google.com.co/books?id=tQiAIcui5dsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Gutiérrez, M. (2013). *La cultura organizacional, variable importante para obtener ventaja competitiva*. Recuperado el 15 de agosto de 2020, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10669/GutierrezFierroMelissa2013.pdf;jsessionid=36DF9F7F161033FC6FE5156B778B0687?sequence=1>

- Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 43, 134-149. Recuperado el 05 de febrero de 2020
- Harrison, J., & John, C. H. (2002). *Fundamentos de la Dirección Estratégica. Segunda edición. (2 ed.)*. España: Thomson Editores Spain.
- Headquarters Metrohm International. (19 de marzo de 2018). *Industrias- Análisis de materias*. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de <https://www.metrohm.com/es/industrias/analisis-de-materias-primas-polimeros/>
- Hernández, J., & Polis, G. (2011). *Modelo de competitividad de las cinco fuerzas de Porter*. Recuperado el 27 de 05 de 2020, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54488638/MODELO_DE_COMPETITIVIDAD_DE_LAS_CINCO_FUERZAS_DE_PORTER_-_8.pdf?1505944334=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMODELO_DE_COMPETITIVIDAD_DE_LAS_CINCO_FU.pdf&Expires=1599101352&Signature=T0QpPdJI
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. (Vol. 3). México: McGraw-Hill. Recuperado el 19 de 03 de 2019
- Herrera, H. (2013). *Generación de energía a través de biogás en Colombia*. Recuperado el 11 de 04 de 2020, de <https://dspace.unila.edu.br/123456789/601>
- Humphrey, A., & Lie, B. (2004). *Análisis de matriz DOFA*.
- ICONTEC. (2015). *ISO 14001*. Recuperado el 11 de 05 de 2020, de <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>
- IDEAM;PNUD;MADS;DNP;CANCILLERÍA. (2016). *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Recuperado el 21 de 04 de 2019, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>
- IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático. (1996). *Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Workbook, 6, 1-22*. Recuperado el 11 de 02 de 2019, de <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del

- Ambiente (ops/cepis). Recuperado el 25 de 06 de 2019, de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- K2 INGENIERIA S.A.S. (2018). *Monitoreo de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y amoníaco (NH₃) en el área de influencia del sitio de disposición final el carrasco ubicado en el municipio de bucaramanga, departamento de santander para la Empresa de Aseo de Bucaramanga S.A E.S.P. Bucaramanga*. Recuperado el 05 de 03 de 2019
- Kaplan, R. S. (2008). Mastering the management system. *Harvard business review*, 86(1), 62.
- Kast, F., & Rosenzweig, J. (1979). *Administración en las organizaciones: enfoque de sistemas y de contingencias* (Cuarta ed.). México: Mc Graw Hill.
- Kosacoff, B., & Campanario, S. (2007). *La revalorización de las materias primas y sus efectos en América Latina*. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3561/1/S2007306.pdf>
- Leipert, C. (2011). Los costes sociales del crecimiento económico. *De la economía ambiental a la economía ecológica*, 151-170. Recuperado el 15 de 04 de 2020
- Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey Circular 645.
- Libera, B. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. *Acimed*, 15(3), 0-0. Recuperado el 11 de 02 de 2019
- Lli, C., & Saiz, J. (Mayo de 2015). *Emprendimiento y análisis PESTEL de un offshoring de servicios: una valoración práctica*. Recuperado el 27 de 03 de 2020, de https://mpra.ub.uni-muenchen.de/88467/1/MPRA_paper_88467.pdf
- López, D. (Marzo de 2016). *Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138545/Modelo-para-el-diseno-de-sistemas-de-captacion-y-aprovechamiento-de-biogas-producido.pdf?sequence=1>
- López, I., & García, R. (2006). *Valoración económica de la contaminación por olores en el área de influencia del relleno sanitario El Carrasco: una aplicación de la metodología de precios hedónicos*. Recuperado el 10 de 05 de 2019, de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121827.pdf>
- López, J. (2010). *Modelo Insumo Producto*. México: Universidad Autónoma de Chiapas. Recuperado el 12 de julio de 2020

- Mariño, A., Cortés, F., & Garzón, L. (2008). Herramienta de " software" para la enseñanza y entrenamiento en la construcción de la matriz DOFA. *Ingeniería e investigación*, 28(3), 159-164. Recuperado el 18 de agosto de 2020
- Martínez, D., & Milla, A. (2012). *La elaboración del plan estratégico a través del Cuadro de Mando Integral*. Ediciones Díaz de Santos.
- Martínez, E., Jurado, M., Hostalet, N., & Salmoral, A. (2011). *Bio-manegás*. Recuperado el 13 de 09 de 2020
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 67-85. Recuperado el 22 de 08 de 2020
- Milanesi, G. (2016). La tasa interna de retorno promedio borrosa: desarrollos y aplicaciones. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 21(40), 39-47. Recuperado el 22 de 09 de 2020
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2017). *Datos Abiertos Colombia*. Recuperado el 11 de febrero de 2020, de <https://www.datos.gov.co/Cultura/COMUNIDAD-IND-GENA-CABILDOS-Y-RESGUARDOS-EN-EL-MUN/9wuv-2htv/data>
- Ministerio de Vivienda. (2003). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*. Obtenido de Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua: <http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf>
- Moré, R. (2019). *Sistema de gestión integral para la sostenibilidad empresarial*. Recuperado el 22 de 04 de 2019
- Niño, L., Ramón, J., & Ramón, J. (2016). Contaminación fisicoquímica de acuíferos por los lixiviados generados del relleno sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. *Producción+Limpia*, 11(1), 66-74. Recuperado el 06 de 05 de 2019
- Obando, T. (2009). *Breves anotaciones conceptuales sobre el ambiente, su tipología y métodos de estudio*. Recuperado el 13 de 02 de 2020, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/conceptos-ambiente-tipologia/conceptos-ambiente-tipologia.pdf>

- Secretaría de Planación Municipal. (s.f). *División Político Urbana del municipio de Bucaramanga*. Recuperado el 11 de 07 de 2019, de <https://www.bucaramanga.gov.co/el-mapa/division-politico-urbana/>
- Secretaría de Salud de Santander. (2014). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud*. Ministerio de Salud. Recuperado el 10 de 03 de 2019, de http://web.observatorio.co/publicaciones/Bucaramanga_dg.pdf.
- Severiche, C., & Acevedo, R. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *Ingenium*, 14(28), 6-15.
- Silva, R. (2009). Características de los sistemas en las organizaciones. *Perspectivas*, 23, 149-163. Recuperado el 20 de 07 de 2020
- Singep. (2017). *Anexo 1. Caracterización de residuos sólidos urbanos relleno sanitario El Carrasco Bucaramanga*. Recuperado de información suministrada por la Empresa de Aseo de Bucaramanga.
- Souza, J., & Schaeffer, L. (2013). Sistema de compresión de biogás y biometano. *Información tecnológica*, 24(6), 03-08.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015). *Informe Nacional - Disposición final de residuos sólidos*. Recuperado el 11 de 04 de 2020, de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informedisposicionfinalano2015-sspd1.pdf>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2016). *Informe Nacional - Diposición final de residuos sólidos*. Recuperado el 24 de 07 de 2019, de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informedisposicionfinalano2015-sspd1.pdf>
- Torrado, L., & Rondón, J. (s.f). *Diseño de vertederos y rellenos sanitarios*. Recuperado el 25 de 02 de 2019, de <https://ingeassas.com/diapositivas/RELLENOS-SANITARIOS-CASO-CARRASCO.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2019). *Precio Energía Eléctrica-Comparación países*. Recuperado el 19 de 11 de 2020, de <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/precios-energia-electrica-comparacion-paises.aspx>

- Vega, J. (noviembre de 2010). *Análisis de ciclo de vida de sistemas de tratamiento de aguas residuales: influencia de los materiales utilizados*. Recuperado el 14 de 09 de 2020, de https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_150985/PFC_JuanAntonioVegaRodriguez.pdf
- Velasco, A. (2017). *Implementación de la Estrategia*. Recuperado el 25 de 03 de 2020, de https://www.aciamericas.coop/IMG/pdf/articulo_implementation_de_la_estrategia.pdf
- Vera, I., Estrada, M., Martínez, J., & Ortiz, A. (2015). Potential of Power Generation from Biogas. Part II: Municipal Solid Waste. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 471-478.
- Weebsup.com. (05 de enero de 2016). *Análisis PESTEL para definir la estrategia de tu empresa*. Recuperado el 27 de 03 de 2020, de <https://weebsup.com/analisis-pestel-definir-la-estrategia-empresa/>