

**INVENTARIO DE EMISIONES DEL RELLENO SANITARIO ANTÁNAS DEL  
MUNICIPIO DE SAN JUAN DE PASTO, COMO INSTRUMENTO ESTRATÉGICO DE  
APOYO A LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ENTIDAD.**



LIZETH ALEJANDRA ERAZO ERAZO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2011**

**INVENTARIO DE EMISIONES DEL RELLENO SANITARIO ANTÁNAS DEL  
MUNICIPIO DE SAN JUAN DE PASTO, COMO INSTRUMENTO ESTRATÉGICO DE  
APOYO A LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ENTIDAD.**

LIZETH ALEJANDRA ERAZO ERAZO

Trabajo de grado para optar al título de ingeniera ambiental

Director:  
**PAULO MAURICIO ESPINOSA ECHEVERRI**  
Ingeniero Químico, MSc.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2011**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del director del trabajo de grado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Popayán 5 de marzo de 2012

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A E.S.P de San Juan de Pasto y a la Universidad del Cauca.

A mi PADRE DIOS, a mi familia y amigos me brindaron su compañía y valiosa amistad.

Dr. Oscar Hernán Parra Erazo, Gerente EMAS S.A E.S.P

Ingeniero José Antonio Zambrano Villota, Gerente Técnico EMAS S.A E.S.P

Ingeniera Lorena Gurrero Montezuma, Supervisora EMAS S.A E.S.P

Ingeniero Andrés López, Colaborador EMAS S.A E.S.P

Ingeniero Paulo Mauricio Espinosa Echeverri, Director

Ingeniera María Elena Castro, Jurado

Química, María Cristina Ledezma, Jurado

## DEDICATORIAS

*A MI PADRE DIOS, por su amor, fidelidad y bendición, por ser mi sustento y anhelo en cada despertar.*

*A mis padres Luis Guillermo Erazo y María Emérita Erazo Patiño, por su apoyo incondicional en todos mis sueños.*

*A mis hermanos Karoline Julieth y Mateo Alexander Erazo Erazo, por ser ese motor de esperanza y alegría en mis días.*

*A mis dos estrellas en el cielo Mariana de Jesús Rueda y María Eva Patiño, por iluminar mi caminar.*

*A Rubén Darío Santacruz Salazar, por ser mi compañero en este gran viaje.*

*A mis compañeros, amigos y colegas, por esa compañía grata durante toda mi carrera.*

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABLAS .....	10
LISTA DE GRAFICAS .....	11
LISTA DE ANEXOS .....	12
RESUMEN .....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. JUSTIFICACIÓN .....	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5. MARCO TEÓRICO .....	18
5.1 GENERALIDADES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA GENERADAS POR RELLENOS SANITARIOS.....	18
5.1.1 Fuentes de emisión .....	18
5.1.2 Producción y control de gases .....	18
5.1.3 Producción y control de lixiviados .....	21
5.2 INVENTARIO DE EMISIONES AL MEDIO ATMOSFÉRICO.....	25
5.2.1 Generalidades y fundamentos de los inventarios de emisiones .....	25
5.2.2 Definición y objetivos de un inventario de emisiones .....	25
5.2.3 Inventarios de emisiones y los planes de gestión de calidad (PGCA) .....	26
5.2.4 Etapas de desarrollo de un inventario de emisiones.....	27
5.2.5 Técnicas y herramientas de estimación de emisiones.....	32
5.2.6 Modelos de estimación de emisiones atmosféricas.....	34
5.3 MARCO LEGAL.....	37
5.3.1 Reseña Histórica.....	38
6. INFORMACIÓN DEL PROYECTO.....	40
6.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....	40
6.2 UBICACIÓN REGIONAL Y CARACTERISTICAS GENERALES.....	41
6.3 OPERACIÓN, MANEJO Y FUNCIONAMIENTO .....	41
6.4 CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	43

6.5	PRODUCCIÓN DE GASES Y SISTEMA DE CONTROL.....	43
6.5.1	Descripción del sistema de desgasificación .....	44
6.5.2	Gestión y control de operación.....	44
6.5.3	Componentes del sistema de desgasificación .....	45
6.6	PRODUCCIÓN Y SISTEMA DE CONTROL DE LIXIVIADOS.....	45
6.6.1	Configuración de la planta de tratamiento de lixiviados .....	45
6.6.2	Descripción del tren de tratamiento de lixiviados.....	46
7.	DISEÑO METODOLOGICO.....	48
7.1	DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	48
7.2	RECONOCIMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	50
7.3	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO INDUSTRIAL .....	50
7.4	IDENTIFICAR EL PROPÓSITO DEL INVENTARIO DE EMISIONES .....	50
7.5	DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS Y ELABORACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	50
7.6	IDENTIFICAR LAS FUENTES DE EMISIÓN Y LAS FUENTES DE INFORMACIÓN.....	50
7.7	SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	51
7.8	RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA.....	51
7.9	CALCULAR LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	51
7.10	ALIMENTACIÓN A LA BASE DE DATOS .....	51
8.	DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO ANTANAS. ....	52
8.1	IDENTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA Y DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	52
8.2	PROPOSITO Y ELABORACION DE LA FICHA TECNICA .....	53
8.3	PLANEACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES.....	54
8.4	IDENTIFICACION DE FUENTES DE EMISION Y FUENTES DE INFORMACION.....	55
8.5	SELECCIÓN DE LOS METODOS DE ESTIMACION DE EMISIONES .....	56
8.6	CÁLCULO DE EMISIONES.....	57
8.6.1	Fuentes fijas dispersas .....	57
8.6.2	Fuentes fijas dispersas .....	64
8.6.3	Otras fuentes de emisión.....	67
9.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	71
9.1	EMISIONES PRODUCTO DE LAS CELDAS DE DISPOSICION FINAL.....	71

9.2	EMISIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS. ....	78
9.3	OTRAS FUENTES DE EMISIÓN .....	79
10.	INVENTARIO DE EMISIONES 2010.....	81
11.	DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	82
11.1	EMISIONES DE FUENTES FIJAS DIFUSAS.....	82
11.2	EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO .....	86
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	ANEXOS .....	96



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: comportamiento de emisión de gases en un relleno sanitario.....	19
Figura 2: etapas involucradas en el PGCA.....	27
Figura 3: etapas de desarrollo de un inventario de emisiones.....	28
Figura 4: jerarquía en la técnicas de estimación de emisiones.....	32
Figura 5: esquema del tratamiento de lixiviados.....	46
Figura 6: metodología general de la investigación.....	49
Figura 7: diagrama de flujo del proceso de disposición.....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: composición de gases de un relleno sanitario .....	20
Tabla 2: composición del biogas emitido por una PTAR.....	22
Tabla 3: ficha técnica del inventario de emisiones.....	29
Tabla 4: ficha técnica del inventario de emisiones RSA.....	54
Tabla 5: planeación del inventario de emisiones.....	55
Tabla 6: identificación de fuentes de emisión y las fuentes de información .....	56
Tabla 7: métodos de estimación de emisiones RSA .....	57
Tabla 8: historia de disposición de residuos .....	60
Tabla 9: valores de K recomendados por la EPA.....	60
Tabla 10: comparación de valores de k y Lo rellenos sanitarios como antecedentes.....	61
Tabla 11: composición física de los residuos sólidos urbanos.....	62
Tabla 12: escenarios de modelación de emisiones relleno sanitario Antánas. ....	64
Tabla 13: información necesaria para aplicar factores de emisión .....	65
Tabla 14: factores de emisión utilizados.....	65
Tabla 15: caudales de agua (lixiviado) tratada para el año base 2010 .....	66
Tabla 16: factores de emisión y contaminantes a tener en cuenta.....	66
Tabla 18: cálculo de los factores de emisión .....	70
Tabla 19: alimentación del modelo.....	72
Tabla 20: inventario de emisiones de sustancias contaminantes criterio.....	77
Tabla 21: inventario de emisiones año 2010 .....	78
Tabla 22: caudales de agua tratada anual (2010) .....	78
Tabla 23: resultados de las emisiones .....	78
Tabla 24: resultados de emisiones varias .....	80
Tabla 25: estimación de emisiones totales.....	81

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: emisiones de Metano (m <sup>3</sup> / año).....	73
Grafica 2: emisiones de Metano (ton/año).....	73
Grafica 3: emisiones de dióxido de carbono (ton/año) .....	74
Grafica 4: emisiones de sulfuro de hidrogeno (ton/año) .....	74
Grafica 5: emisiones totales de biogás (ton/año).....	75
Grafica 6: escenario de antecedentes .....	75
Grafica 7: escenario de antecedentes .....	76
Grafica 8: escenario de antecedentes .....	76
Grafica 9: emisiones 2010 (ton/año) .....	77
Grafica 10: emisiones contaminantes provenientes de la PTL (ton/año).....	79
Grafica 11: comparación de emisiones de Metano en ton/año .....	83
Grafica 12: emisiones de Metano en Colombia para los años 2000 y 2004.....	86

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Normatividad Colombiana .....	96
ANEXO B: Modelos de Estimación de Emisiones .....	99
Tabla B1: modelos de estimación de emisiones .....	99
ANEXO C: ubicación y distribución del relleno sanitario “Antánas” .....	100
Figura C1: ubicación en el Departamento de Nariño.....	100
Figura C2: plano de distribución del Relleno Sanitario Antánas .....	101
Figura C3: centro integrado de tecnología ambiental .....	101
ANEXO D: OPERACIÓN Y REGISTROS HISTORICOS DE DISPOSICION ANUAL DEL RELLENO SANITARIO “ANTÁNAS” .....	102
Tabla D1: registros históricos más proyecciones de la disposición anual .....	102
ANEXO E: CARACTERIZACION DE LOS RSU.....	103
Tabla E1: composición de los residuos sólidos urbanos .....	103
Tabla E2: composición química de los residuos.....	103
ANEXO F: REGISTROS FOTOGRAFICOS DE LA PLANTA DE DESGASIFICACION –BIONERSIS S.A	104
Tabla F1: valores promedios en porcentajes volumen de Metano y oxígeno año 2010 .....	106
Grafica F1: contenido de Metano y oxígeno en el biogás año 2010.....	107
ANEXO G: REGISTROS FOTOGRAFICOS DE LA PLANTA DE TRATMIENTO DE LIXIVIADOS.....	108
Tabla G1: caudales de agua en la planta de lixiviados.....	109
ANEXO H: ANEXO: base de datos de contaminantes en LandGEM .....	111
ANEXO I: PLANEACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES AÑO 2010.....	112
Tabla I1: formulario fuente puntual BIONERSIS S.A .....	112
Tabla I2: formatos de trabajo de campo.....	125
Tabla I3: ficha técnica anexa del inventario.....	127
Tabla I4: fuentes de emisión y fuentes de información.....	128
Tabla I5: clasificación de las técnicas de estimación .....	128
ANEXO J: INFORME DE EMISIONES LandGEM AÑO 2010 .....	129

## RESUMEN

Los rellenos sanitarios constituyen uno de los métodos más utilizados para la mitigación de impactos ambientales como es la sobre producción de residuos sólidos urbanos en todo tipo de asentamientos y núcleos poblacionales; pero es a su vez una fuente importante de emisión de sustancias contaminantes al medio atmosférico, resultado del proceso de descomposición biológica de los residuos sólidos de origen orgánico, la emisión de biogás conformado por Metano ( $\text{CH}_4$ ), Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV's), todas estas sustancias altamente contaminantes y responsables en gran parte del deterioro de la capa de ozono y el fenómeno denominado cambio climático. La generación de emisiones de biogás varía en el tiempo y con las condiciones ambientales, por lo que es necesario una compleja y profunda investigación del comportamiento de estos fenómenos involucrados en el proceso de disposición final de residuos sólidos.

Dada esta problemática, la estimación de emisiones de biogás procedentes de rellenos sanitarios constituye una base científica para la gestión de calidad de aire, reducir las emisiones de efecto invernadero y brindar a las poblaciones aledañas un ambiente saludable. Los métodos destacados para realizar la cuantificación y cualificación de las emisiones atmosféricas, son modelos que permiten predecir la producción, reducción y evaluación ambiental de las emisiones al medio atmosférico. Esto con el debido seguimiento de todas las actividades involucradas en los procesos y operaciones al interior del relleno sanitario, con el fin de identificar todo aquel proceso y/o actividad que genera un nivel significativo de emisiones atmosféricas.

El relleno sanitario Antánas en el municipio de San Juan de Pasto, como objeto de estudio de esta investigación, por su eficiencia en la gestión integral de residuos sólidos y la avanzada tecnología implementada para el control de la contaminación, resulta obtener una reducción significativa en la generación de gases de efecto invernadero, esto gracias a las técnicas de reducción de emisiones atmosféricas en el marco del Protocolo de Kioto.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se ha constituido como uno de los principales problemas ambientales; el deterioro de la calidad del aire ha propiciado que se incrementen los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. Las concentraciones de algunos contaminantes en la atmósfera por encima de los estándares fijados en la normatividad ambiental en largos periodos de exposición, han generado la necesidad de continuar impulsando la gestión de la calidad del aire para proteger la salud de la población y el medio ambiente.

Gran parte de los niveles de contaminación son provocados por los rellenos sanitarios, estos son responsables de entre 8 y el 12 % del total de emisiones antropogénicas de CH<sub>4</sub> en todo el mundo. Tanto, que en el año 2025 las emisiones mundiales de CH<sub>4</sub> procedente de Rellenos Sanitarios habrán crecido un 60 %. El potencial de reducción de emisiones a partir de quema del CH<sub>4</sub> procedente de rellenos sanitarios puede representar un 8 % del total de las reducciones certificadas de emisiones por sus siglas en inglés CERs que son as unidades de emisión emitidas por los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) (Fornieles, 2005).

El relleno sanitario Antánas fue seleccionado por su buena gestión en el proceso de disposición final de residuos sólidos, por la presencia de tecnologías de control de la contaminación ambiental y el interés administrativo y empresarial por afianzar y extender las buenas prácticas de manejo y control de los residuos sólidos urbanos; por ende encontrara un estudio de cuantificación y cualificación de las emisiones al medio atmosférico provenientes de la actividad de disposición final de residuos sólidos, lo cual permitirá evaluar el grado de afectación y mitigación de estos procesos en el manejo y control de la calidad del aire.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los rellenos sanitarios municipales surgen como respuesta a la problemática generada por la producción de residuos sólidos urbanos, debido a su alto impacto negativo sobre el medio ambiente y el deterioro de la calidad de vida de las comunidades, que se hace cada vez más preocupante por su aumento acelerado, principalmente en las áreas urbanas. Sin embargo, en la actualidad estos sitios de disposición de residuos sólidos, son considerados fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos como material biológico, gases y otros de degradación de desechos orgánicos. Constituyendo una importante fuente antropogénicas de generación de gases invernadero, representada por el biogás producto de la descomposición biológica de la materia, que contiene Metano ( $\text{CH}_4$ ), Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV's); estos compuestos son potencialmente perjudiciales para la calidad del aire y la salud, y su producción varía dependiendo de la antigüedad del sitio de disposición, por el avance de los procesos de estabilización de los residuos, y de las condiciones ambientales en las que se efectúan

Los dos componentes principales del biogás (Metano y Dióxido de Carbono) son considerados gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global, aunque el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) no considera el Dióxido de Carbono en el biogás como un gas de efecto invernadero, este es considerado biogénico y por lo tanto parte natural del ciclo del carbono. El Metano presente en el biogás sí es considerado un GEI, con un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el del Dióxido de Carbono. Razón por la cual se considera los rellenos sanitarios, una importante fuente de emisión de sustancias contaminantes con un alto aporte al fenómeno de cambio climático por el deterioro de la capa de ozono, lo que contribuye al deterioro de la calidad del aire, que incide directamente en la salud ambiental y el bienestar de las poblaciones.

A nivel administrativo, el relleno sanitario Antánas cuenta con tecnologías de control de contaminación; pero no cuenta con un plan de gestión, monitoreo y vigilancia de la calidad del aire, el cual no permite su cuantificación y cualificación de las distintas fuentes de emisión, y su grado de afectación.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La disposición final de los residuos sólidos urbanos es una compleja actividad donde incluyen procesos de tratamiento y control de los productos y subproductos generados; la difícil labor de controlar las emisiones de sustancias contaminantes al medio atmosférico y poder garantizar un ambiente sano a las poblaciones aledañas, es una actividad que requiere de la formulación de buenas políticas internas y externas, que proyecte sistemas de vigilancia, monitoreo y calidad de aire (PGCA, SMVCA).

Una empresa como EMAS S.A E.S.P del Municipio de San Juan de Pasto, que lleva a su cargo todo el proceso de gestión de los residuos sólidos y especialmente el relleno sanitario Antánas, debe formular e implementar políticas de mejoramiento y cumplimiento de las normas en cuanto a calidad de aire; para esto se debe formular un plan de gestión de calidad de aire que incluya sistemas de monitoreo y vigilancia. La importancia de evaluar la eficiencia de estos procesos implica tomar las decisiones correctas en cuanto mejorar las políticas y estrategias de control y prevención, de esta manera también garantizar una buena prestación del servicio sin poner en riesgo el medio natural y lo más importante el bienestar y la buena salud de las comunidades aledañas.

Lo anterior se logra con el pleno conocimiento del desarrollo y eficiencia de los procesos y actividades tanto técnicas como administrativas del relleno sanitario y en general del proceso de disposición final; por ello, un estudio detallado de las emisiones atmosféricas generadas por la operación normal del relleno sanitario, constituye una herramienta útil y una base científica para la cuantificación y cualificación de estas emisiones al medio atmosférico; por lo cual se propone realizar un inventario de emisiones atmosféricas derivadas del normal manejo y operación del relleno sanitario Antánas, como herramienta estratégica de apoyo en la formulación del plan de gestión de calidad de aire de la entidad.



## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un inventario de emisiones atmosféricas derivadas del normal manejo y operación del relleno sanitario Antánas, ubicado en el municipio de San Juan de Pasto (Nariño), como herramienta estratégica de apoyo en la formulación del plan de gestión de calidad de aire de la entidad.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las posibles herramientas de estimación de emisiones aplicables al caso y a la información disponible.
2. Estimar la generación de emisiones atmosféricas por las distintas fuentes de emisión (aplicación de herramientas informáticas y técnicas de estimación).
3. Evaluar, cuantificar y cualificar el grado de impacto ambiental al medio atmosférico derivado de la operación del relleno sanitario.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 GENERALIDADES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA GENERADAS POR RELLENOS SANITARIOS

La contaminación atmosférica generada por la operación de rellenos sanitarios contempla una amplia y variada contextualización de términos y temáticas en general; aquí se detalla rápidamente algunos términos y conceptos para mayor comprensión de la temática.

#### 5.1.1 Fuentes de emisión

En un inventario de emisiones se deben determinar y definir cada una de las categorías de fuentes de emisión; tomando la referencia del informe emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las fuentes de emisión son (MAVDT, 2002).

- **Fuentes fijas puntuales**

La fuente fija es la que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas; es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (MAVDT, 2002).

- **Fuentes fijas dispersas o de área.**

Las fuentes de área son actividades cuyas emisiones individuales no clasifican como fuentes puntuales. Además de fuentes dispersas de gran magnitud, en esta clasificación se incluyen numerosas actividades que individualmente emiten pequeñas cantidades de un contaminante dado, pero colectivamente pueden emitir cantidades significativas de un contaminante (MAVDT, 2002).

- **Fuentes móviles**

Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (MAVDT, 2002). Las emisiones de vehículos automotores están compuestas por un gran número de contaminantes que provienen de varios procesos descritos a continuación:

- **Fuentes naturales o biogénicas**

Las fuentes de emisión biogénicas o también llamadas naturales, corresponden a los procesos naturales que producen cantidades importantes de sustancias contaminantes del aire; como por ejemplo los incendios forestales, la descomposición de la vegetación, las tormentas de polvo y erupciones volcánicas. Es importante mencionar también que estos procesos naturales son autorregulables mediante procesos de precipitación, oxidación, fotosíntesis, absorción, entre otros.

#### 5.1.2 Producción y control de gases

El proceso de descomposición de residuos orgánicos resulta complejo y ocurre en diversas etapas de acuerdo con las condiciones del medio, determinadas por la temperatura, la presencia de oxígeno, las características del residuo y la edad del relleno sanitario, principalmente. Así, es posible identificar cinco fases durante el proceso que se explican con mayor detalle a continuación; todo el contenido de la producción y control de biogás es tomada del documento del Ingeniero Vélez Camargo (VELEZ, 2009):

**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 ( $\text{CO}_2$ ), 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 ( $\text{CO}_2$ ).

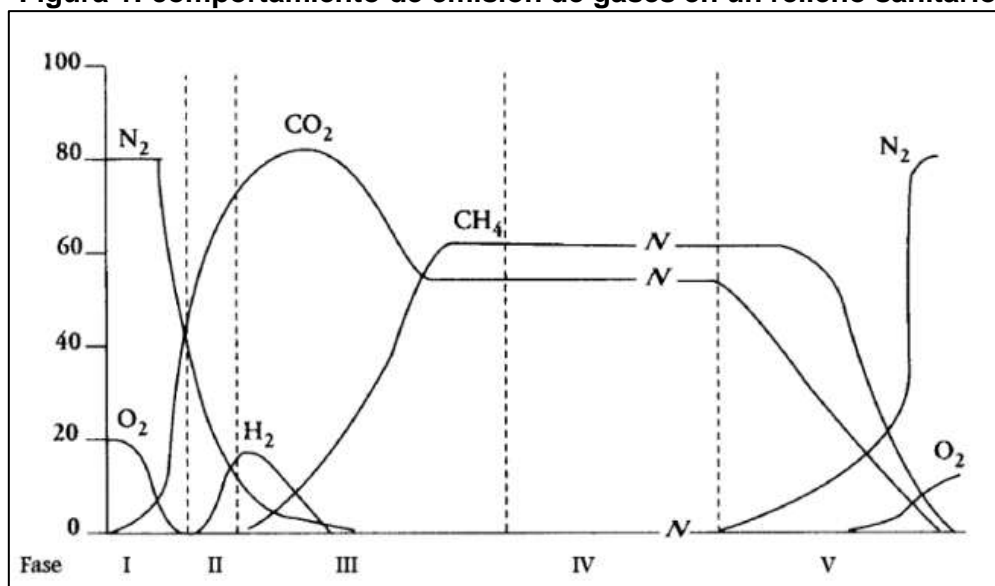
**Fase III:** Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de Metano ( $\text{CH}_4$ ), que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ).

**Fase IV:** Metanogénica estable, que registra la más alta producción de Metano ( $\text{CH}_4$ ) en volumen.

**Fase V:** Estabilización, la producción de Metano ( $\text{CH}_4$ ) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema.

A continuación, en la figura 1 se muestra el comportamiento general de las emisiones de las diferentes sustancias contaminantes al medio atmosférico.

**Figura 1: comportamiento de emisión de gases en un relleno sanitario**



Fuente: (VELEZ, 2009)

Estas fases afectan la composición del biogás y la duración de cada fase se encuentra determinada por las condiciones climáticas y los factores operativos del relleno sanitario.

Las fases I y II pueden durar desde varias semanas hasta dos años o más, favoreciendo el proceso de biodegradación, las altas temperaturas de aire ambiente, la alta compactación y la disposición de residuos en capas delgadas y celdas pequeñas, reduciendo el tiempo transcurrido para estas fases.

Las fases III y IV tienen una duración aproximada de unos cinco años, en función de la operación del relleno sanitario y, en particular, de la cantidad de humedad de los residuos sólidos dispuestos, debido a que el alto contenido de humedad incrementará

significativamente las reacciones biológicas, reduciendo el tiempo transcurrido en las Fases III y IV y, por tanto, aumentando la cantidad de biogás generado con el tiempo. La fase V puede tener una duración de varias décadas o incluso siglos, para que los residuos dispuestos logren finalmente la estabilización, que depende en gran medida de las medidas adoptadas en la operación del relleno sanitario para garantizar el aumento de su tiempo de vida útil.

En la tabla 1, se muestra los componentes y las propiedades del biogás que se encuentran en mayor proporción corresponden al Metano y al Dióxido de Carbono, que en su punto máximo de generación.

**Tabla 1: composición y propiedades de los gases de un relleno sanitario**

Parámetro	Unidad	Rango de variación
Metano	% CH <sub>4</sub>	30-65
Dióxido de carbono	% CO <sub>2</sub>	20-40
Nitrógeno	% N <sub>2</sub>	5-40
Hidrógeno	%H <sub>2</sub>	1-3
Oxígeno	% O <sub>2</sub>	0-5
Argón	% Ar	0-0.4
Sulfuro de hidrógeno	% H <sub>2</sub> S	0-0.01
Sulfato total	%S	0-0.01
Cloruro total	%Cl	0.005
Temperatura	°C	10-40
Contenido de humedad	% humedad relativa	0-100
Masa	Kg/m <sup>3</sup>	1.1-1.28
Nivel de energía mínimo	MJ/Nm <sup>3</sup>	10.8-23.3

*Fuente: (VELEZ, 2009)*

El Metano como principal componente, es el mayor contribuyente al calentamiento global entre los gases de efecto invernadero, después del Dióxido de Carbono; 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 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, 2006).

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 medidas que puedan adoptarse para la reducción de los gases emitidos. Sin embargo, la evaluación de las emisiones de biogás de los rellenos sanitarios resulta compleja, debido a que se trata de múltiples fuentes con una alta variabilidad espacial y temporal.

Es preciso aclarar que los rellenos sanitarios poseen dos fases en su vida útil: una etapa de funcionamiento, cuando los residuos sólidos urbanos son degradados en estos sitios, y una segunda etapa de clausura, cuando se alcanza la máxima capacidad de almacenamiento de residuos sólidos. En su etapa de operación los rellenos sanitarios emiten mayor cantidad de Metano con respecto a los rellenos clausurados, esto se debe a que la degradación de la materia orgánica ocurre en su mayoría en los primeros años.

Sin embargo tras el cierre, un relleno sanitario continúa con la generación y emisión de biogás, posiblemente por varios cientos de años. La producción de biogás en las primeras etapas de vida de un relleno sanitario puede ser mínima durante varios meses, sin embargo, en rellenos sanitarios con una vida útil media o recientemente clausurado la producción se puede encontrar en su máxima capacidad, tardando varios años en dejar de producir este biogás, incluso aun después de clausurado el relleno.

Se ha estimado de forma teórica que la generación de biogás a partir de una tonelada de Carbono biodegradable equivale a 1868 Nm<sup>3</sup> (Normal = Nm<sup>3</sup> de metros cúbicos). Para países industrializados, el potencial de biogás que puede ser generado de los residuos sólidos municipales es de aproximadamente 370 Nm<sup>3</sup>, aunque esta cantidad se encuentra determinada por diversos factores. Debido a estos y a la degradación biológica incompleta, generalmente se acepta que un volumen máximo aproximado de 200Nm<sup>3</sup> de biogás generados a partir de una tonelada de residuos sólidos urbanos dispuestos en el relleno sanitario (VELEZ, 2009).

### **5.1.3 Producción y control de lixiviados**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), define por lixiviado el líquido residual que es generado en la descomposición bioquímica de los residuos o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación, este líquido tiende a salir, por gravedad, por la parte inferior del Relleno Sanitario, hasta que una capa impermeable lo impida (MAVDT, 2002).

Las características de los lixiviados generados en rellenos sanitarios, dependen de las características de los residuos depositados y de las condiciones reinantes en él, como la temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, capacidad del suelo para remover contaminantes y la calidad y cantidad del agua que entra en contacto con la masa de residuos dispuesto (MAVDT, 2002).

Los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. Las características fisicoquímicas de los lixiviados son inherentes tanto a la calidad de los residuos sólidos como a su grado de estabilización. Desde que los residuos sólidos son generados y aun temporalmente dispuestos, tiene lugar la degradación aeróbica, que es comparable con la compostación de los residuos.

Debido a la alta compresión de los residuos, el oxígeno tomado de la atmósfera no es suficiente para compensar la demanda de oxígeno de los microorganismos, por lo que se originan condiciones anaerobias. Esta situación, es la causa del cambio de la biocenosis aerobia a anaerobia facultativa y más tarde a microorganismos anaerobios obligados. La fase de fermentación ácida puede durar de 3 a 7 años; dependiendo de

la forma y factores ambientales que predominan. En la disposición los lixiviados pueden presentar concentraciones muy altas de DQO y DBO<sub>5</sub>. Durante esta fase (3 a 7 años) la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es aproximadamente 0,6. En este caso, alrededor del 90% de la DBO<sub>5</sub> es causada por ácidos grasos volátiles (AGV), lo que significa que la biodegradabilidad del lixiviado durante este lapso de tiempo es alta (MAVDT, 2002).

El incremento de las bacterias Metanogénicas, afecta negativa y progresivamente la producción de AGV. Después de un período de 7 a 9 años la biocenosis alcanza un estado estable, denominada fase Metanogénica. La contaminación orgánica del lixiviado disminuye rápidamente lo que da como resultado que la DBO<sub>5</sub> presente valores más bajos que 500 mg/L y la relación DBO<sub>5</sub>/DQO se acerca a 0,1 y aún más bajos (MAVDT, 2002).

Contrario a la disminución de la contaminación orgánica del lixiviado, las concentraciones de amonio aumentan rápidamente, alcanzando concentraciones de 500 mg/L NH<sub>4</sub> –1500 mg/L NH<sub>4</sub> en un período de 3 a 8 años y permaneciendo así por lo menos 50 años o más (Tchobanoglous, 1997).

- **Emisiones atmosféricas en plantas de tratamiento de lixiviados**

**Emisión de Metano:** En un medio libre de oxígeno disuelto, los microorganismos facultativos y anaeróbicos degradan la materia orgánica presente en el agua o lodo produciendo Metano y dióxido de carbono. La cantidad de Metano producida se verá influenciada por la cantidad de materia orgánica degradada y la medida en que el medio se encuentre libre de oxígeno disuelto. Esta última característica se ve condicionada por el diseño y mecanismos de aireación (naturales o forzados) que posea la unidad de tratamiento. Por ejemplo, en lagunas de tratamiento anaeróbicas abiertas (sin captura de biogás), puede existir una capa superficial que contenga oxígeno disuelto. El espesor de dicha capa dependerá, entre otros factores, de la temperatura, la intensidad de la radiación solar, la velocidad del viento y la turbidez del agua. Por otro lado, en sistemas predominantemente aeróbicos (por ejemplo las lagunas aeróbicas poco profundas sin sistemas de aireación forzada) pueden crearse zonas carentes de oxígeno disuelto en los sedimentos del fondo.

Según datos del IPCC, en condiciones óptimas (ausencia total de oxígeno disuelto) un reactor anaeróbico es capaz de producir 0,25 Kg de Metano por cada Kg de DQO (demanda química de oxígeno) degradada (IPCC, 2006).

El gas emitido por una unidad de tratamiento anaeróbica se denomina biogás y está compuesto por diversos gases, esta composición se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2: composición del biogás emitido por una planta de tratamiento de aguas residuales**

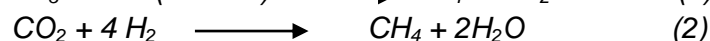
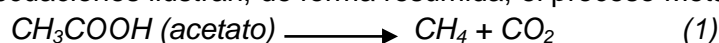
Metano (CH <sub>4</sub> )	55 – 75%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 – 45%
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0,3%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	1 – 5%
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0 – 3%
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0,1 – 0,5%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	trazas

Fuente: MAVDT, 2008

El mecanismo de degradación anaeróbica puede describirse en tres pasos básicos:

1. **Hidrólisis:** donde el material particulado es convertido en compuestos solubles que luego pueden ser hidrolizados aún más a moléculas simples que son utilizadas por las bacterias que llevan a cabo la acidogénesis.
2. **Fermentación:** en esta etapa, también conocida como acidogénesis, los ácidos grasos, aminoácidos y azúcares formados en el paso anterior son degradados aún más. Los principales productos de la fermentación son el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono.
3. **Metanogénesis:** esta fase es llevada a cabo por una clase de microorganismos anaeróbicos denominados metanógenos. Existen dos grupos de microorganismos metanógenos: los acetoclásticos (degradan el acetato a Metano y de carbono) y los utilizadores de hidrógeno (generan Metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono). El desarrollo de los organismos Metanogénicos se ve inhibido en presencia de oxígeno disuelto.

Las siguientes ecuaciones ilustran, de forma resumida, el proceso Metanogénico:



El cálculo básico que utilizan las metodologías aprobadas de la UNFCCC para estimar la producción de Metano con base en la cantidad de contaminantes orgánicos removidos (expresados como DQO):

$$CH_4 = Bo \times MCF \times DQO_d \quad (3)$$

siendo Bo: máxima capacidad de producción de Metano del agua residual o lodo (0,25 Kg CH<sub>4</sub>/Kg DQO); MCF: factor de corrección de Metano, que representa la fracción de materia orgánica que será degradada en condiciones anaeróbicas, depende de las condiciones de oxigenación del medio; DQOd: demanda química de oxígeno degradada, que representa el contenido de materia orgánica del agua servida que es degradada durante el tratamiento en esa unidad (Kg de DQO/m<sup>3</sup>) (IPCC, 2006).

**Emisiones de Óxido Nitroso:** El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) puede generarse como subproducto durante los procesos de nitrificación/desnitrificación en plantas de tratamiento o en cursos de agua donde el efluente crudo o parcialmente tratado es descargado. La generación de N<sub>2</sub>O ocurre principalmente durante los procesos metabólicos llevados a cabo por bacterias autótrofas que oxidan el amoníaco (p.ej. nitrificantes) y bacterias heterótrofas que transforman nitratos en gas nitrógeno (p. ej. Pseudomonas).

El N<sub>2</sub>O es un GEI con potencial de calentamiento 310 veces superior al del CO<sub>2</sub>, de ahí radica su importancia en las emisiones al medio atmosférico.

En líneas generales, se puede decir que una planta de tratamiento biológico de aguas residuales tiene potencial para nitrificar cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- ❖ Presencia de oxígeno disuelto.
- ❖ Temperatura media mayor a 15 °C.
- ❖ Tiempo de residencia hidráulico mayor a 5 horas.
- ❖ Tiempo de retención de sólidos mayor a 5 días.
- ❖ Existencia de NH<sub>3</sub> en el afluente a tratar.
- ❖ No existencia de tóxicos en niveles que inhiban el accionar de las bacterias nitrificadoras.
- ❖ pH mayor a 6,5 y menor a 8,5.

Los procesos de desnitrificación se diseñan con el fin de remover nitrógeno del efluente y así evitar la eutrofización del cuerpo receptor o, en caso de usar el efluente tratado para recargar la capa freática, para controlar el nivel de nitratos en la misma.

El proceso de desnitrificación se logra introduciendo un ciclo de por lo menos dos reactores: un tanque anóxico (sin oxígeno disuelto) antes o después de un reactor aeróbico.

De esta forma, el oxígeno ligado al nitrato generado a partir de la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación) se utiliza en el reactor anóxico, liberando nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ). Debido al alto costo de este tipo de tratamiento, en los países en vía de desarrollo existen muy pocas plantas con procesos de nitrificación/desnitrificación; sin embargo, en la actualidad, los proyectos MDL se enfocan principalmente en reducir la emisión del gas Metano. La emisión de óxido nitroso en plantas de tratamiento, a pesar de ser un gas de efecto invernadero de gran importancia en sistemas que nitrifican/desnitrifican, aún no se encuentra incluida en la mayoría de las metodologías aprobadas de la UNFCCC, por lo tanto, gran parte de los proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) carecen de un método estandarizado y aprobado que sirva para medir la reducción de emisiones de óxido nitroso y generar, en consecuencia, bonos de carbono.

La emisión de óxido nitroso se contempla en el tratamiento a gran escala de efluentes ganaderos y en proyectos que involucran gran cantidad de lodos durante el tratamiento de aguas residuales. Estos lodos poseen un gran contenido de nitrógeno, lo que aumenta las tasas de nitrificación y desnitrificación del suelo, incrementando la emisión de  $N_2O$ .

- ***Métodos y alternativas para la estimación de emisiones de PTAR***

Las Corrientes de aguas residuales se recogen y tratan de varias maneras; muchos de esta recolección y unidades de tratamiento del sistema están abiertos a la atmósfera y permite que las aguas residuales entren en contacto con el aire. Cuando esto sucede, hay un potencial de las emisiones de COV's. Los contaminantes orgánicos se volatilizan en un intento de ejercer su equilibrio parcial de la presión por encima de las aguas residuales. De este modo, los compuestos orgánicos son emitidos al aire alrededor de las unidades de recolección y tratamiento. La magnitud de las emisiones de COV's depende en gran medida de muchos factores, tales como las propiedades físicas de los contaminantes, la concentración de contaminantes, la velocidad de flujo, la temperatura de las aguas residuales, y el diseño de la recogida y tratamiento de las unidades. Todos estos factores, así como el esquema general que se utiliza para recogida y tratamiento de aguas residuales de instalaciones, tienen un efecto importante en las emisiones de COV's.

Existen varias metodologías disponibles para calcular las emisiones fugitivas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. El método utilizado depende de los datos disponibles, los recursos disponibles, y el grado de precisión requerida en la estimación (Environmental Protection Agency- EPA, 2002).

Los siguientes son los métodos más comunes en la estimación de emisiones provenientes del tratamiento de aguas residuales.

- Cálculos manuales
- Modelos de emisiones
- Medición en la fase gaseosa



- Factores de emisión
- Balance de masa

## **5.2 INVENTARIO DE EMISIONES AL MEDIO ATMOSFÉRICO**

### **5.2.1 Generalidades y fundamentos de los inventarios de emisiones**

Ante la crisis ambiental de la que se mencionó en párrafos anteriores, los inventarios de emisiones constituyeron una herramienta que utilizada como su nombre lo indica, son para estimar cualitativa y cuantitativamente las emisiones al medio atmosférico; temática introducida a finales de los años 90's y en auge durante el siglo XXI por el protocolo de Kyoto, como respuesta de los gobiernos ante la crisis ambiental como lo es el calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono.

Los inventarios nacionales de emisiones y capturas de gases efecto invernadero se establecieron como el instrumento con el cual se medirá el cumplimiento o incumplimiento de los países incluidos en el *Anexo I* de sus compromisos asumidos con el Protocolo de Kyoto. Por ello, la elaboración de estos documentos "cuantificables" ha venido enriqueciéndose para transformarlos en una instancia confiable y precisa. Para satisfacer estas metas, los inventarios deben satisfacer los principios de las buenas prácticas, lo que significa que:

- Deben ser completos, en cuanto a gases, actividades y territorio considerados
- Deben ser precisos, lo que significa el uso de la mejor información disponible
- Deben ser transparentes, en cuanto a las fuentes de datos y métodos aplicados
- Deben ser consistentes, a lo largo de las series temporales, lo que significa el uso de los mismos factores de emisión y métodos para una misma categoría
- Deben ser comparables, lo que significa el uso de metodologías comunes.

Es importante inferir desde ya, que los impactos y alcances de los inventarios de emisiones trascienden las fronteras en el tema de la calidad del aire y sus resultados e información tienen injerencia en las actividades económicas, industriales, energéticas y de transporte del país; además de influir en la salud pública y la política ambiental local, regional, nacional e internacional; de allí su importancia y amplia aplicación.

### **5.2.2 Definición y objetivos de un inventario de emisiones**

#### **Definición de un inventario de emisiones**

Un inventario de Emisiones es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan mediante sumatoria las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y del tipo y cantidad de contaminantes emitidos en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinado. Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones pues son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control tendientes a mejorar la calidad del aire (MAVDT, 2010).

Por parte del IPCC, el inventario de Gases es la contabilidad de las emisiones de gases y partículas que resultan de las actividades antropogénicas aumentando la concentración de gases en la atmósfera en niveles superiores a los que son producidos en forma natural. Los gases que se consideran de efecto invernadero son CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub>, cuyo efecto final sería el calentamiento global de la tierra,

causando cambios en los patrones de comportamiento del clima, las lluvias y los vientos y aumentando el nivel del mar, cambios que ocasionarían catástrofes impredecibles (IPCC, 2006).

### **Objetivos de un inventario de emisiones**

Teniendo en cuenta la variedad de estas problemáticas están directamente implícitas en el propósito general del inventario de emisiones, que se puede obtener de manera detallada y precisa la información de las emisiones al medio atmosférico con el fin de:

- ❖ Informar a autoridades ambientales para la toma de decisiones
- ❖ Informar al público en general y proveer de estudios acerca de los riesgos para la salud humana producto de la contaminación del aire.
- ❖ Estudiar los impactos ambientales potenciales y las implicaciones de diferentes estrategias y planes
- ❖ Evaluar la efectividad de las regulaciones implementadas

### **5.2.3 Inventarios de emisiones y los planes de gestión de calidad (PGCA)**

Hoy en día, cualquiera que sea la actividad industrial, la realización de un inventario de emisiones es la plataforma sobre la cual se construyen y ejecutan los planes de gestión de calidad de aire (PGCA); un inventario de emisiones técnicamente es una lista de cantidades y concentraciones de sustancias contaminantes emitidas al medio atmosférico, pero esta lista debe ser asociada a una actividad industrial; y este, a su vez debe servir de base técnica y científica para la elaboración de los PGCA con el fin de tomar decisiones y diseñar estrategias de reducción y control de emisiones de contaminantes.

El diseño e implementación de un Plan de Gestión de la Calidad del Aire (PGCA) como conjunto de procesos, procedimientos y normas, tiene como único propósito reducir el impacto que ocasionan al ambiente atmosférico y la salud pública los diferentes tipos de fuentes y contaminantes dentro de un marco de mejoramiento continuo. La aplicación de un PGCA involucra el estudio de la relación fuente-receptor y sus implicaciones en la calidad del aire mediante la utilización de diferentes metodologías y técnicas de investigación (MAVDT, 2010).

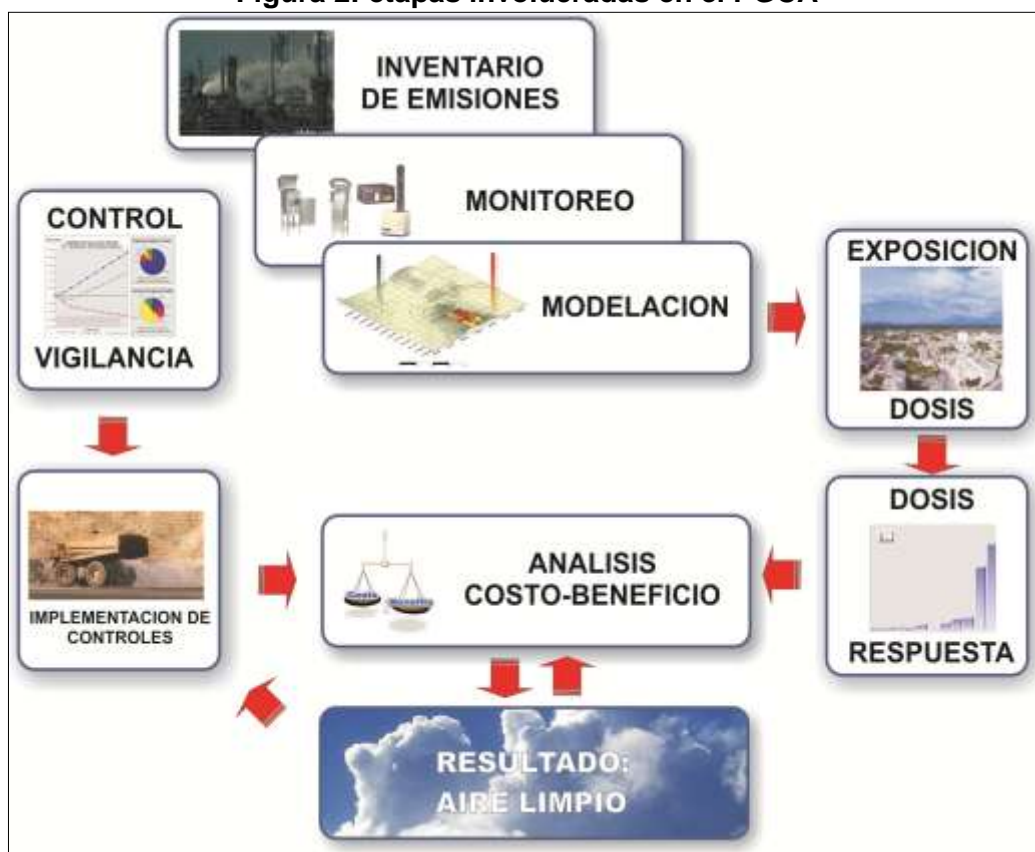
A continuación, en la figura 2 se muestra un esquema que ilustra mejor las etapas de un Plan de Gestión de la Calidad del Aire, las técnicas de control y vigilancia, mejoramiento continuo y como resultado un ambiente limpio; las constituyentes del PGCA.

El esquema muestra que el inventario de emisiones es una de las tres herramientas claves de un PGCA como lo son: la vigilancia o medición e inventarios de emisiones, seguido de la modelación, y las políticas adoptadas; éstas se integran en un programa de gestión de la siguiente manera:

La medición y los inventarios de emisiones proveen fundamentos científicos y técnicos para el desarrollo de las políticas y estrategias. La cuantificación del impacto generado en términos de pérdida de calidad del aire y sus efectos en la salud de la población (en comparación con estándares y con información de morbilidad – mortalidad) hacen posible la cuantificación del efecto que producen las medidas adoptadas (evaluación de su impacto) y el costo de su implementación (evaluación económica de su implementación). Sin embargo, estas herramientas utilizadas con el mayor rigor técnico sólo entregan una imagen parcial útil de los comportamientos de las variables de contaminación del aire en espacio y tiempo determinados para una ciudad o región.

Otras herramientas como la modelación de la calidad del aire permite formular políticas integrales y ajustar las existentes al predecir los efectos de éstas, al poder evaluar escenarios futuros considerando diferentes alternativas y medidas de control de las emisiones y predecir sus efectos.

**Figura 2: etapas involucradas en el PGCA**



*Fuente: ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010.*

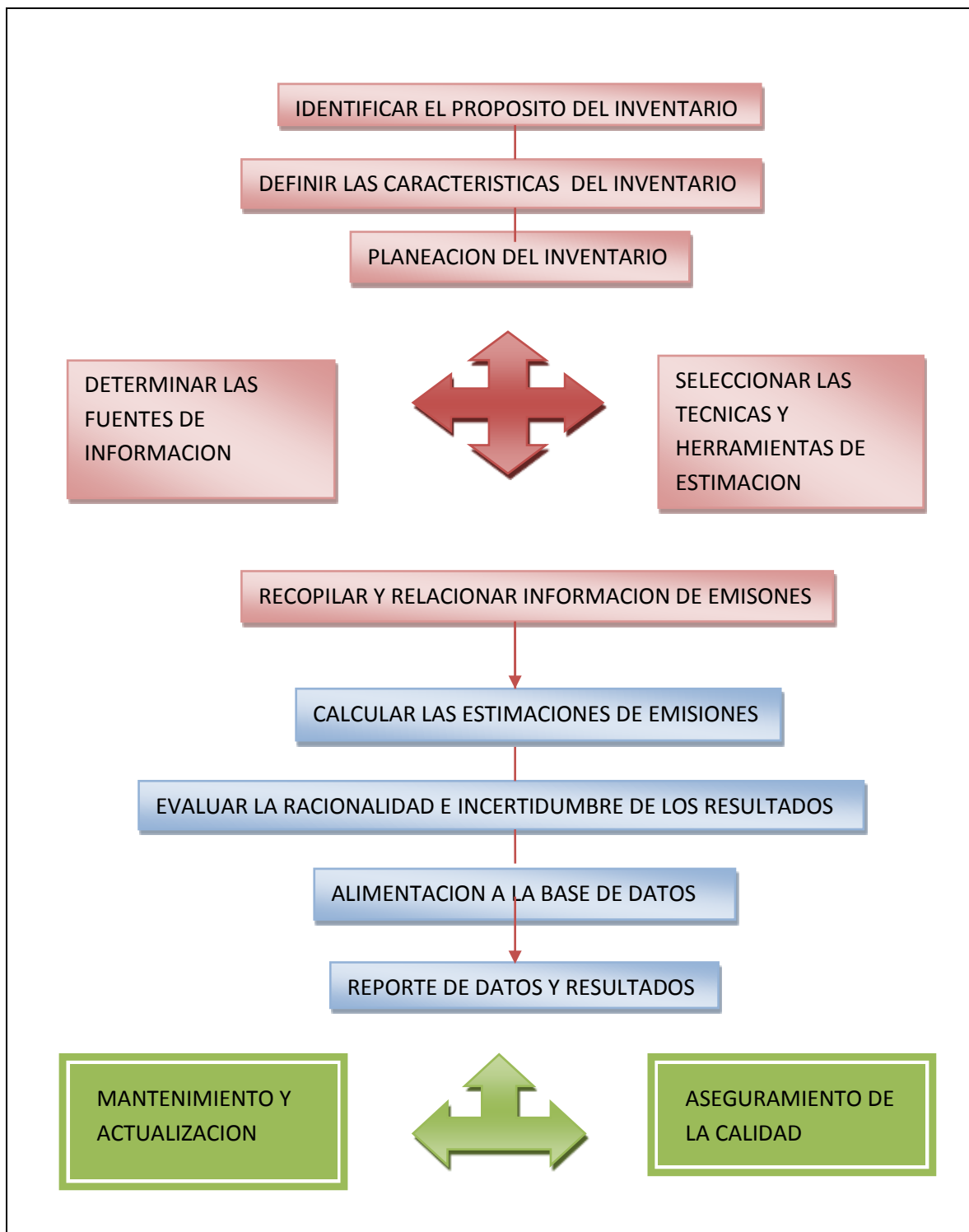
#### **5.2.4 Etapas de desarrollo de un inventario de emisiones**

Las etapas de desarrollo de un inventario de emisiones se muestran en la figura 3; donde la primera fase (etiquetas en rojo) del proceso consiste en la caracterización general y definición del propósito del inventario de emisiones; este incluye la elaboración de la ficha técnica y particularidades del inventario de emisiones. En esta fase también se debe hacer la respectiva planeación del inventario que son la descripción de las actividades a tener en cuenta para lograr el cumplimiento del objetivo de la investigación, aquí también se incluye de manera importante la identificación de las fuentes de emisión y las fuentes de información de cada una. Y finalmente, cumplidas estas etapas finaliza la fase con la recopilación y clasificación de la información disponible.

La segunda fase del inventario corresponde al cálculo de las emisiones atmosféricas, que es la aplicación y desarrollo de las técnicas de estimación de emisión previamente identificadas para cada fuente de emisión. De estas, los resultados obtenidos deben pasar por un proceso de evaluación de calidad de información y cálculo, y alimentarlos de manera dinámica a una base de datos.

Es importante mencionar, que esta base de datos y los resultados que arroje, en un marco de mejoramiento continuo debe ser actualizado en una base temporal anual y sometido a evaluaciones de calidad e incertidumbre de error.

**Figura 3: etapas de desarrollo de un inventario de emisiones**



Fuente: (MAVDT, 2006)

Para una mejor comprensión de cada una de las etapas de desarrollo del inventario de emisiones y con el apoyo del manual de inventarios de emisiones, documento publicado por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en el año 2006, se describe a continuación cada una de ellas (MAVDT, 2006).

**a. Identificar el propósito del inventario**

La identificación del propósito general del inventario es el primer paso en el desarrollo de un inventario de emisiones, y como primer paso, en este se trazan sus principales lineamientos. Estos lineamientos son diseñados basándose en los objetivos propuestos lo cual permite centrar el inventario en el cumplimiento de las necesidades requeridas y reduce los costos de su desarrollo.

**b. Definir las características del inventario**

Las características de un inventario de emisiones específico se deben expresar en la ficha técnica del inventario, la tabla 3 es un ejemplo de la ficha técnica, donde se debe consignar la información más importante que identifique el inventario y cualquier particularidad que se tenga en cuenta. Esta es una forma de organizar metódicamente el proceso.

**Tabla 3: ficha técnica del inventario de emisiones**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>PROPÓSITO</b>	
<b>ALCANCES</b>	
<b>DOMINIO</b>	
<b>SVCA ASOCIADO</b>	
<b>AMBITO TEMPORAL</b>	Año Base: Año Inicial: Resolución Temporal:
<b>CONTAMINANTES CONSIDERADOS</b>	
<b>TIPOS DE FUENTES</b>	
<b>FUENTES DE NO CONSIDERADAS</b>	
<b>PARTICULARIDADES</b>	

*Fuente: MAVDT, 2006*

**c. Planeación**

Después de tener definidos los objetivos, el propósito y las características del inventario en la correspondiente ficha técnica, se procede a realizar la planeación del inventario de emisiones, es decir las actividades que se realizarán para su desarrollo. La elaboración del plan de trabajo es un paso fundamental en el desarrollo del inventario en él se definirán los siguientes aspectos:

1. Definición del organigrama
2. Elaboración del cronograma y presupuesto
3. Definición de metodología central
4. Definir procedimientos de control y aseguramiento de la calidad
5. Identificación de fuentes de información
6. Planeación logística
7. Definición de herramienta de gestión de datos

La planeación se debe realizar basada en los pasos para la elaboración del inventario descritos anteriormente. Los tiempos de ejecución varían de acuerdo a la magnitud del inventario de emisiones, al igual que los recursos económicos y humanos.

**d. Determinar las fuentes de información**

Esta etapa del inventario de emisiones se realiza teniendo ya identificadas las fuentes de emisión y clasificadas por el nivel de aporte a la contaminación atmosférica. La determinación de las fuentes de información se debe inferir a las fuentes de emisión más importantes o más significativas ya identificadas para el correspondiente cálculo de emisiones.

**e. Seleccionar las técnicas y/o herramientas de estimación**

Ésta es la parte principal del desarrollo del inventario de emisiones; este proceso tiene lugar la recolección de datos, y la estimación y cálculo de emisiones. La selección del método de estimación es esencial para obtener valores realistas y representativos durante la realización del inventario. En algunos casos, la disponibilidad de los datos determinará qué métodos de estimación son factibles para cada fuente. En otros casos la técnica a utilizar será la que defina el tipo de información que se deba recopilar.

Al escoger el método de estimación de emisiones se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de datos de calidad aceptable necesarios para las estimaciones
- Practicidad del método para cada categoría de fuente
- Propósito del inventario
- Interés particular en una categoría de fuente (si existe una fuente en el área de estudio con alguna problemática ambiental específica debe tener una mayor precisión que las demás categorías)
- Tiempo disponible para el inventario (el realizar mediciones en campo tomará más tiempo que la estimación mediante algún método numérico)

**f. Recopilar la información relacionada con emisiones**

Después de identificar las fuentes de información y las metodologías de estimación, se deben recopilar los datos que permitan la estimación de emisiones para cada fuente. Los datos relacionados con las emisiones incluyen: factores de emisión, valores obtenidos de muestreos en la fuente y parámetros de los modelos de factores de emisión. Es posible que algunos de los datos relacionados con las emisiones ya existan mientras que otros necesiten desarrollarse para usarlos en un inventario específico. Por lo general, los datos de la actividad (proceso productivo) para las fuentes identificadas incluyen información sobre las horas de operación, el consumo de combustibles, materia prima, producto terminado y otros datos de la actividad así como otra información más general como lo es la ubicación (coordenadas, municipio, dirección, permisos), áreas, etc. Toda esta información será recopilada de manera simultánea por medio de encuestas y consulta de información bibliográfica. El éxito de los resultados del inventario depende en mayor parte del buen desarrollo de esta fase.

**g. Calcular las estimaciones de emisiones.**

Después de contar con toda la información recopilada se procede a calcular las emisiones para cada tipo de fuente y cada contaminante a evaluar. Estos cálculos serán más o menos precisos de acuerdo con la técnica seleccionada y se realizan utilizando en algunos casos recursos electrónicos como hojas de cálculos, o en otros

casos más avanzados, como la aplicación de software. Tanto en la recopilación de datos como en la determinación de técnicas y el cálculo de las emisiones juega un papel importante el plan de aseguramiento y control de la calidad de los datos, ya que de estas fases dependen los resultados que genere el inventario.

#### ***h. Alimentación a la base datos***

La gestión de datos es una parte fundamental de la presentación de los resultados, ya que va directamente relacionado con la entrega final del producto que corresponde a una base de datos electrónica. Esta base de datos será utilizada principalmente en los inventarios realizados en las Autoridades Ambientales ya que permite una entrada de datos más amplia y una mejor consulta de los datos almacenados. Para inventarios pequeños, como los realizados por una empresa, deben utilizarse hojas de cálculo de Excel porque el rango de datos a manejar es mucho menor y no requiere de consultas avanzadas.

Los resultados de estimaciones realizadas en el inventario de emisiones deben alimentar una base de datos. El nivel de complejidad de esta estará definido por el propósito del inventario y el SVCA asociado. La base de datos podrá utilizar una simple hoja de cálculo para SVCA Indicativo hasta base de datos con capacidad de análisis en SVCA avanzados.

#### ***i. Reporte de datos***

Esta actividad comprende la presentación de los datos recolectados, compilados y analizados. Esta fase cumple un papel importante la base de datos que se obtendrá como producto del inventario de emisiones.

El reporte final del inventario de emisiones debe contener:

- Descripción del área geográfica cubierta con información de la economía, población y nivel de empleo.
- Descripción de la información utilizada en el inventario así como fuentes de información para la estimación de emisiones
- Ficha técnica del inventario
- Descripción de cada tipo de fuente especificando la forma como recolectada la información, los métodos de estimación de emisiones y cálculos.
- Copia de cuestionarios, referencias, suposiciones realizadas, fuentes de incertidumbre
- Fuentes no incluidas en el inventario.

#### ***j. Mantenimiento y actualización***

Es un proceso continuo de revisión y ajuste inventario. La actualización permitirá establecer el crecimiento o decrecimiento en el tiempo de las fuentes en el dominio del mismo. La actualización garantiza el uso del inventario más allá del año inicial.

Las razones para actualizar el IE se resumen en:

- Cambios en el número total de fuentes inventariadas. Industrias existentes pueden cerrar totalmente o parte de sus procesos
- Cambios en la operación de fuentes existentes
- Algunas fuentes inventariadas pueden ser temporales
- Crecimientos poblacionales (ejemplo: crecimiento flota vehicular, aumento de fuentes comerciales)

- Cambios en regulaciones
- Cambios en combustibles disponibles
- Cambios en métodos de cálculo

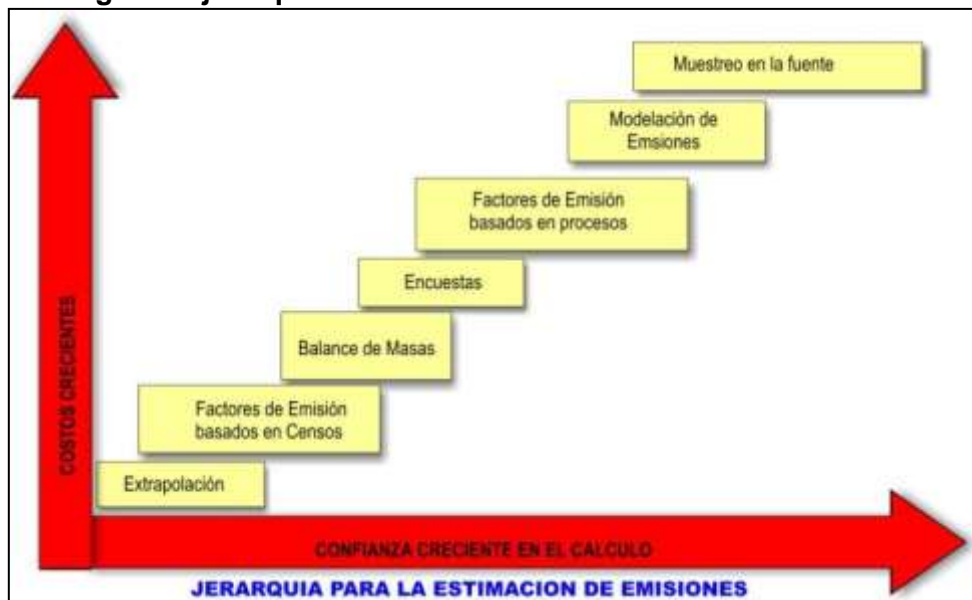
### 5.2.5 Técnicas y herramientas de estimación de emisiones

En el campo ambiental existen hoy día diferentes metodologías para estimar las emisiones de material contaminante hacia la atmósfera, entre las cuales se tienen (esta clasificación al igual que el anterior se tomó del compendio de estimación de emisiones del MAVDT, 2006):

1. Monitoreo en la fuente.
2. Balances de Masa.
3. Empleo de Factores de Emisión.
4. Caracterización de combustibles.
5. Modelos Matemáticos que permiten estimar la dispersión de las emisiones.
6. Extrapolación de valores.

La elección de la metodología más conveniente teniendo en cuenta la información disponible y su grado de confianza. Por ejemplo, si se cuenta con información de un muestreo isocinético (muestreo directo) y adicionalmente se tiene información para estimar las emisiones por medio de factores de emisión, de acuerdo con la jerarquía la medición directa representa resultados más confiables que la estimación con factores de emisión; por tanto, las emisiones reportadas serán las obtenidas a través de medición directa. En la figura 4 se muestra la estructura jerárquica que permite escoger el método de estimación de emisiones acorde al grado de confiabilidad y costo.

**Figura 4: jerarquía en la técnicas de estimación de emisiones**



*Fuente: MAVDT, 2006*

- **Muestreo en la fuente**

La técnica de monitoreo isocinético permite evaluar las emisiones por chimenea y determinar el flujo de los gases efluentes de la misma, como también recoger



emisiones de material particulado en el equipo de muestreo. La muestra recogida es enviada al laboratorio para analizar y cuantificar la concentración de partículas, dióxido de azufre y dióxidos de nitrógeno emitidos. En esencia el muestreo isocinético permite determinar la masa de contaminante por unidad de tiempo de material emitido a través de un ducto o chimenea hacia la atmósfera.

- **Modelación de emisiones**

Las modelaciones son aplicaciones informáticas por lo general que están basados en ecuaciones empíricas desarrolladas para ciertos procesos y tipos de fuentes. En el anexo A se relaciona en un paralelo algunos de los modelos más conocidos de estimación de emisiones.

La modelación de emisiones es una técnica de estimación que permite obtener valores más ajustados a la realidad del proceso y por esta razón se encuentra en el segundo escalón de jerarquía de confianza entre estos métodos. Sin embargo, su confiabilidad depende de la calidad de los datos de entrada. Es por esto que antes de utilizar un modelo como método de estimación, se debe evaluar la calidad de la información requerida como dato de entrada al modelo.

- **Encuestas**

La encuesta o cuestionario dirigido a establecimientos industriales o comerciales es utilizada como un método para obtener los datos básicos necesarios en la estimación de emisiones de una o varias fuentes puntuales.

El método de encuesta también se puede usar para reunir la información necesaria para calcular las emisiones de fuentes de área. De igual manera este método puede dar lugar al desarrollo de factores de emisión específicos para una región, que sirvan para hacer ciertas estimaciones de emisiones de fuentes de área.

- **Balance de masas**

Los balances de masa permiten determinar las emisiones de contaminante estableciendo una ecuación matemática a partir de la cantidad de material que entra al proceso, el material que sale, el material que haya sido convertido a producto, y el material residual. Se involucra la cuantificación de un flujo de material que entra y sale de un sistema en donde las diferencias entre las entradas y salidas son asumidas como descargas al ambiente.

Los balances de materiales se utilizan con certeza cuando los flujos de entrada y de salida pueden ser claramente identificados. Regularmente se utilizan para componentes individuales de un proceso o la sumatoria de los componentes de conforman el flujo del proceso. Se debe tener cuidado al emplear valores de las propiedades químicas inherentes a cargas y producciones, dado que pequeñas diferencias en éstos podría generar grandes errores en la estimación de las emisiones. Para estimar la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera por medio de balance de masas, se deben tener en consideración diferentes actividades, las cuales se presentan a continuación:

- ❖ Información general de la actividad industrial.
- ❖ Descripción de las instalaciones.
- ❖ Definición del sistema a evaluar.
- ❖ Información del proceso o procesos que genera las emisiones.

- **Factores de emisión**

Un factor de emisión es un indicador que relaciona el nivel emitido de material contaminante con una corriente del proceso relacionada al mismo y que puede ser medido con facilidad. El valor correspondiente a la totalidad de contaminante emitido se obtiene multiplicando el factor de emisión específico por la cantidad de material cargado o combustible utilizado en el proceso.

Un factor de emisión relaciona el tipo y la cantidad emitida de un contaminante con la producción o la cantidad de combustible quemado y se clasifica de acuerdo con su grado de precisión en las categorías A, B, C, D, y E siendo A la categoría con mayor grado de precisión y E la de precisión más baja.

La ecuación básica para la estimación de emisiones cuando se utiliza un factor de emisión controlado es:

$$E = R * FE \text{ (encontrado)} \quad \text{ecuación básica (1)}$$
$$E = \frac{R * FE \text{ (encontrado)} * (100 - C)}{100}$$

Dónde:

- E= Emisión estimada para el proceso,
- R= Nivel de actividad por ejemplo Rendimiento Operativo del Proceso.
- FE= Factor de emisión asumiendo no control.
- C= Porcentaje de eficiencia del sistema de control.

Los factores de emisión se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos, por lo general, los primeros se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o en balances de materiales. Por otro lado, los factores de emisión basados en censos se usan generalmente para estimar emisiones de fuentes de área.

- **Extrapolación**

Las técnicas de extrapolación pueden usarse para calcular emisiones indirectamente y para verificar las dimensiones, en órdenes de magnitud, de las estimaciones de emisiones calculadas con otros métodos.

En general, la extrapolación de emisiones de una región geográfica a otra se considera como el enfoque menos deseable para la estimación de emisiones, debido a que este enfoque puede no tomar en cuenta de manera apropiada diferencias importantes entre dos regiones y puede propagar los sesgos de un inventario a otro. Sin embargo, cuando se combina con un marco de modelación, la extrapolación es un enfoque práctico y costo efectivo para desarrollar estimaciones de emisiones para aquellas regiones en las que la información no es suficiente para el uso de metodologías de estimación más rigurosas.

### **5.2.6 Modelos de estimación de emisiones atmosféricas**

A continuación se da una breve descripción de los modelos de estimación de emisiones atmosféricas más utilizados en el sector de residuos sólidos, en el ANEXO A se encuentran clasificados algunos ejemplos de modelos de estimación. (Se hará una detallada descripción en los modelos utilizados en la investigación).

- **LandGEM versión 3.02 – EPA(environmental agency protection)**

#### **Características generales**

El modelo LandGEM versión 3.02, es un modelo matemático desarrollado por la *EPA-UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY* en mayo del 2001; esta es una herramienta de estimación automatizada con una interfaz de Microsoft Excel, donde es utilizado para la estimación de las tasas de emisión de gases de los rellenos sanitarios, emisiones de contaminantes como Metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos no metánicos y contaminantes de aire individuales; basado en una ecuación de primer orden de la tasa de descomposición de los residuos en los vertederos o rellenos sanitarios.

El modelo contiene dos conjuntos de parámetros por defecto; por defecto CAA (clean air act), que son valores basados en las normas federales para rellenos sanitarios establecidos por la ley de aire limpio CAA de los EE.UU, y los valores predeterminados de inventario se basan en los factores de emisión compilados en el aparte AP 42- EPA y se utiliza para generar estimaciones de las emisiones de uso en los inventarios de emisiones (Environmental protection Agency, 2005).

El modelo proporciona un enfoque relativamente simple para estimar las emisiones de gases de vertedero, que por defecto se basan en los datos empíricos de los vertederos EE.UU; los datos de prueba de campo también se puede utilizar en lugar de por defecto del modelo cuando estén disponibles. Los parámetros del modelo para estimar las emisiones de rellenos sanitarios son; la tasa de generación de Metano, el potencial de generación de Metano, el contenido de compuestos orgánicos no metánicos y el contenido de Metano.

En cuanto al diseño de la hoja de cálculo, LandGEM consta de nueve hojas de cálculo dentro de una hoja de cálculo Excel de Microsoft; 1) INTRO, contiene una visión general del modelo y notas importantes a tener en cuenta en el manejo de LandGEM. 2) ENTRADA DE USUARIOS, permite al usuario proporcionar las características del relleno sanitario, determinar los parámetros del modelo, seleccionar los gases contaminantes y finalmente ingresar las tasa de aceptación de residuos. 3) CONTAMINANTES, permite la edición de los contaminantes en cuanto a concentraciones y pesos moleculares. 4) EXAMEN DE ENTRADA, permite la revisión e impresión de los datos del modelo ingresados anteriormente. 5) METANO, en esta sección encontramos los cálculos de las estimaciones de emisiones de Metano con la ecuación de primer orden de velocidad de descomposición. 6) RESULTADOS, muestra de forme dinámica los resultados de las estimaciones de emisiones con hasta cuatro gases contaminantes. 7) GRAFICOS, muestra las gráficas de las estimaciones de emisiones de los cuatro contaminantes seleccionados en la segunda hoja de cálculo. 8) INVENTARIO, muestra las emisiones en un cuadro para todos los gases y contaminantes de un solo año especificado por el usuario. 9) INFORME, permite la revisión e impresión de los datos del modelo y los resultados en un resumen detallado.

- **Modelo Colombiano de Biogás**

Este es un modelo derivado de LandGEM versión 01, este modelo fue desarrollado por SCS Engineers bajo un contrato con el programa Landfill Methane Outreach (LMOP) de la USEPA. Puede ser utilizado para estimar generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios colombianos que cuenten o planeen tener un sistema de

recolección de biogás utilizado para la estimación de biogás generado y capturado en rellenos sanitarios municipales en Colombia.

El Modelo está elaborado en una hoja de cálculo en Excel y está basado en una ecuación de degradación de primer orden. Este modelo requiere que el usuario alimente datos específicos tales como el año de apertura, año de clausura, índices de disposición anual, ubicación del sitio y contestar algunas preguntas referente a las condiciones físicas pasadas y presentes del sitio. El modelo provee automáticamente valores para el índice de generación de Metano (k) y la generación potencial de Metano (Lo) para cada uno de los 33 departamentos en Colombia estima la eficiencia de captura en base a las respuestas proveídas. Estos valores fueron desarrollados usando datos específicos de clima, caracterización de residuos y prácticas de disposición de residuos de Colombia y estima el efecto de estas condiciones en las cantidades y índices de generación de biogás. También se evaluó información de recuperación de biogás actual en dos rellenos sanitarios en Colombia para ayudarnos en la selección de los valores de k y L0.

- ***WATER 9, software de estimación de emisiones de plantas de tratamiento de aguas residuales e industriales***

WATER 9 es un modelo de tratamiento de aguas residuales; un programa de Windows basado en computadora que se compone de expresiones analíticas para la estimación de las emisiones al medio atmosférico de los contaminantes individuales presentes en los residuos de la recolección de aguas residuales, almacenamiento, tratamiento, y disposición final; contiene una base de datos de más de 900 compuestos orgánicos y los procedimientos para la obtención de informes de los constituyentes, incluyendo las emisiones atmosféricas y la efectividad del tratamiento.

WATER 9 contiene un conjunto de unidades que el modelo puede utilizar en un solo proyecto y proporcionar un modelo para una instalación completa. WATER 9 es capaz de evaluar una instalación completa de tratamiento que contiene múltiples flujos de entrada de aguas residuales, múltiples sistemas de colección y complejas configuraciones de tratamiento. Además, proporciona estimaciones de emisiones separadas para cada compuesto que se identifica como un componente de los desechos. Las estimaciones de emisiones se basan en las propiedades del compuesto y su concentración en los residuos. Para obtener estas estimaciones de las emisiones, el usuario tiene que identificar los compuestos de interés y proporcionar sus concentraciones en los residuos. La identificación de los compuestos se puede realizar mediante la selección de ellos en la base de datos que acompaña al programa o al introducir la nueva información que describe las propiedades de un compuesto que no figuran en la base de datos.

- ***BASTE (tratamiento de superficie)***

Este modelo fue desarrollado para estimar las emisiones atmosféricas provenientes del tratamiento de aguas residuales; específicamente las plantas de tratamiento en el área de bahía-California. Baste es un modelo informático basado en la entrada de información a través de menús, tiene una estructura que permite una gran flexibilidad en la simulación de una amplia gama de procesos del tratamiento. Se puede simular el destino de los compuestos orgánicos en la mezcla, así como también con los reactores de flujo pistón, burbuja de difusión y la aireación de la superficie, las emisiones de los vertederos y las caídas.

- **PAVE - SOLAR (tratamiento de superficie)**

Este modelo fue desarrollado por la Asociación de Fabricantes de Productos Químicos. Simula el destino de los contaminantes gaseosos en las aguas superficiales y difundidas al aire de los sistemas de lodos activados. El modelo de PAVE ofrece una selección de diferentes modelos cinéticos biológicos. Se basa en el modelo tradicional del proceso de cinética de los reactores biológicos y realiza los cálculos tradicionales de la concentración de oxígeno disuelto y los residuos de lodos activados por el flujo. El modelo SOLAR trabaja con compuestos que tienen baja volatilidad y, por tanto, puede ser en fase gaseosa de transferencia de masa limitada. La mayoría de los otros modelos usa el oxígeno como un sustituto de transferencia de masa de modo que sólo en fase líquida resiste a la transferencia de masa. SOLAR está disponible a través de la Asociación de Fabricantes de Productos Químicos.

- **Cincinnati (EPA - CINCINNATI MODELO)**

Este es un modelo Integrado para predecir el destino de los compuestos orgánicos en plantas de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de superficie). Este modelo fue desarrollado con el apoyo del Laboratorio de Ingeniería de Riesgos de la EPA. Contiene una base de datos de las propiedades físicas de las sustancias contaminantes que incluyen 196 sustancias químicas y metales, las constantes de la Ley de Henry, los coeficientes de absorción, las constantes de velocidad de biodegradación, y difusividad. Entre los mecanismos de eliminación se incluyen volatilización, extracción, la volatilización de la superficie, la adsorción y biodegradación. Y entre las operaciones de las unidades se incluyen el tratamiento primario seguido de un tratamiento secundario con lodos de reciclaje y tratamiento secundario de lodos sin reciclar.

- **TOXCHEM +**

TOXCHEM es un programa de computadora para el control de químicos tóxicos en plantas de tratamiento de aguas residuales, industriales o domésticas (tratamiento y recolección). Este modelo fue desarrollado por Enviromega Company Ltd. (Campbellville, Ontario), en cooperación con el Centro de Tecnología de Aguas Residuales de Canadá. La base de datos incluye 204 productos y sustancias químicas (incluidos los metales) e información detallada sobre las propiedades físicas de los mismos. El modelo también incluye constantes de la Ley de Henry, los coeficientes de absorción, y las constantes de velocidad de biodegradación. El modelo simula la volatilización, extracción, absorción y los mecanismos de eliminación, biodegradación de presas, la volatilización de la superficie, la superficie de ventilación y la aireación del subsuelo. Una amplia variedad de operaciones en la instalación de tratamiento de las aguas residuales pueden ser representadas como por ejemplo; desarenadores, clarificadores primarios, colectores, reactor de lodos activados, tanques de aireación.

### **5.3 MARCO LEGAL**

En el país la contaminación atmosférica se ha constituido en uno de los principales problemas ambientales; el deterioro de la calidad del aire ha propiciado que se incrementen los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. Las concentraciones de algunos contaminantes en la atmósfera por encima de los estándares fijados en las normas ambientales en largos periodos de exposición, han generado la necesidad de continuar impulsando la gestión de la calidad del aire para proteger la salud de la población y el medio ambiente.

Si bien en la última década se han desarrollado instrumentos para controlar la contaminación del aire, se ha visto la necesidad de formular una política de prevención y control de la contaminación del aire de manera que se mantenga y fortalezca la gestión coordinada de todos los actores relacionados con la gestión de la calidad del aire y se garantice la coherencia, consistencia y armonía con las políticas y regulaciones ambientales y sectoriales, a través de espacios de coordinación y participación. De esta forma el país podrá centrar y focalizar los esfuerzos de manera estructurada para combatir la problemática actual, promoviendo un progreso constante hacia el cumplimiento de los niveles aceptables de calidad del aire.

A continuación se resume la normativa en una reseña histórica, la normatividad aplicable más detallada se encuentra en el ANEXO B.

### **5.3.1 Reseña Histórica**

La contaminación atmosférica en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud de las poblaciones, como también en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales. De acuerdo con una encuesta realizada para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2008, el 67% de los encuestados perciben la contaminación como un problema ambiental y 52% consideran la contaminación del aire como el principal problema (MAVDT, 2008). En este sentido, Colombia ha tenido una larga y amplia tradición en materia de acciones para el control de la contaminación del aire. Inicialmente, en 1967 se instalaron las primeras redes para el monitoreo de la calidad del aire; posteriormente, en 1973 se expidió la Ley 23, cuyo propósito es “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”. Dicha Ley le concedió facultades extraordinarias al gobierno nacional para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto-Ley 2811 de 1974).

En 1979, el Congreso de la República aprobó la Ley 9, mediante la cual se expidió el Código Sanitario Nacional, por medio de la cual se definieron normas, programas y medidas para la protección del medio ambiente. Se facultó al Ministerio de Salud, hoy Ministerio de la Protección Social, para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica.

La norma que reguló la emisión y concentración de contaminantes a la atmósfera fue emitida en 1982, año en el cual se adoptaron los estándares de calidad del aire y de emisión por fuentes fijas mediante el Decreto 02, el cual reglamentó parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979 y el Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a emisiones atmosféricas y calidad del aire. Este decreto fue derogado parcialmente en 1995 y algunos artículos quedaron transitoriamente vigentes hasta el 2008. Por otra parte, en 2001 se expidió una norma específica para el Distrito Capital mediante la cual se estableció estándares más estrictos y se incluyeron contaminantes que no habían sido contemplados en la regulación nacional. Estos esfuerzos iniciales han sido primordiales para el avance en la gestión ambiental del aire que se ha desarrollado en el país.

La Constitución Política de 1991 estableció una serie de derechos y obligaciones relacionados con el medio ambiente. En el Capítulo 3, los artículos 79 y 80 dispone que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo” y “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

En marzo de 2005, el Consejo Nacional de Política Económica y Social aprobó el documento Conpes 3344 que contiene los lineamientos para la formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire y recomienda adoptar los lineamientos propuestos en dicho documento para el desarrollo de estrategias de prevención y control de la contaminación del aire; solicita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en coordinación con los Ministerios de Minas y Energía, Protección Social y Transporte, adelantar los trámites necesarios para la creación de la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la Contaminación del Aire, CONAIRE; y solicita a las entidades que integran la CONAIRE concurrir coordinadamente en el desarrollo de las acciones indicadas en el Plan de Acción del documento Conpes y, a partir de la fecha de conformación de la CONAIRE, detallar y ajustar el plan de acción que garantice su efectiva implementación.

## **6. INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

### **6.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

En Colombia la problemática de los residuos sólidos urbanos es tal, que el país está muy cercano a tener una emergencia sanitaria, debido que en las grandes y medianas ciudades los rellenos sanitarios está a punto de cumplir su vida útil, lo que generará un caos sanitario si no se estudian posibles alternativas de disposición final. En el caso del municipio de San Juan de Pasto, esta situación se presentó en el año 2.000, en que el municipio entro en emergencia sanitaria, por lo cual es indispensable continuar con los estudios y la realización de una disposición final adecuada y responsable, como se ha venido desarrollando en el relleno sanitario Antánas por parte de EMAS S.A E.S.P, cuyo fin último es proveer a la comunidad de un servicio de aseo óptimo con un profundo interés en la conservación del medio ambiente.

El sitio destinado para la disposición de residuos sólidos en la ciudad de San Juan de Pasto, era en un principio el relleno sanitario "Plazuelas". El cual se encontraba ubicado al norte de la ciudad aproximadamente a 8 kilómetros del casco urbano, a una altura de 2.930 m.s.n.m., y con una superficie de 24 hectáreas. Este relleno inició operaciones en junio de 1.989 y funcionó como botadero a cielo abierto hasta junio de 1.995, lo cual produjo un alto impacto ambiental negativo sobre las comunidades aledañas. El Relleno Sanitario Plazuelas presentó fallas técnicas en su ubicación e instalación, ocasionando que los costos de operación fueran supremamente altos. El plan de cierre, junto con las obras complementarias se llevó a cabo en 1.999 por EMAS S.A E.S.P. E.S.P (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

De acuerdo con los registros estadísticos que posee la empresa Metropolitana de Aseo S.A. E.S.P, en la ciudad de San Juan de Pasto se recogían a junio de 1.998, alrededor de 5.489 toneladas por mes, lo que equivale aproximadamente a 200 ton/d. Se tenía igualmente estimada una producción per cápita de 0,606 Kg./hab/d, con un índice de crecimiento anual del 1,04% (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

En la última década debido al crecimiento y desarrollo de la ciudad, ha generado un aumento en la cantidad de los escombros producidos; la carencia de sitios cercanos y adecuados para su disposición, sumados a las prácticas de arrojarlos a las corrientes de agua, a los espacios públicos, a lotes y a zonas verdes, desmejoraba el paisaje urbano creando focos importantes de contaminación visual.

A raíz del cierre del lote Plazuelas, Corponariño autorizó la utilización temporal de un lote aledaño denominado Santa Clara durante un año y medio (hasta octubre 26 de 2.000), sin embargo se hizo una solicitud de prórroga para su clausura hasta el 28 de febrero de 2.001. Según los registros de ingreso al Relleno Sanitario transitorio Santa Clara, se disponían 210 toneladas de residuos sólidos por día, 6.300 ton/mes y 75.000 ton/año (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

En marzo 16 de 2001, mediante el Decreto 122 expedido por la alcaldía de Pasto se declara la emergencia Sanitaria para la ciudad y se entrega a la empresa encargada del manejo de los residuos sólidos el lote Antánas, ubicado en la vereda La Josefina, corregimiento Morasurco para el diseño de un relleno sanitario. Este Relleno Sanitario ha sido manejado con responsabilidad, y con la técnica que requiere un relleno sanitario, para que no se convierta en un botadero a cielo abierto. Se han logrado disminuir los efectos negativos sobre el suelo, las corrientes de agua y el aire, a través de estructuras como drenajes, planta de tratamiento, pozos sépticos, entre otros.



Finalmente, el lugar seleccionado como sitio de disposición final de residuos, fue el relleno sanitario Antánas, que se encuentra localizado en la parte baja de la vereda Daza a 12 Km del municipio de Pasto por la Vía Panamericana norte y a 1 Km de ésta por la troncal hacia Buesaco; en el relleno se disponen los desechos (residenciales, comerciales e industriales) no peligrosos, que se generan en ciudad de San Juan de Pasto; además del corregimiento de Morasurco, y los municipios de Imués, Nariño, Guaitarilla, Tangua, y otros municipios que por su cercanía al relleno y la voluntad política, se anexaron al proyecto. En esta área se producen actualmente un total de residuos cercanos a las 75.000 toneladas por año, de los cuales el 29,5% son materiales inorgánicos y el 70,5% orgánico (EMAS S.A E.S.P, 2005). La cobertura promedio del servicio de recolección es del 97,1% con 22 rutas que cubren toda la zona de interés regional. En esta zona se encuentran los Vasos I, II, III, que corresponden al área de propiedad del municipio, que tiene en total 100 Ha, de las cuales solo el 16% corresponden al relleno distribuidas en estos vasos, sólo el 1,2% corresponden en áreas de coberturas vegetales representados en bosque secundario, bosque en sucesión y rastrojos altos, el área restante, es decir aproximadamente el 84% está en condiciones naturales como zonas de retiros, de conservación, de protección y de reforestación (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

## **6.2 UBICACIÓN REGIONAL Y CARACTERISTICAS GENERALES**

Anteriormente se había mencionado la ubicación exacta del relleno sanitario Antánas en el Municipio de San Juan de Pasto. El relleno sanitario está limitado al sur por la vía que conduce a dicho municipio, al Norte por la quebrada Yuyas, al Oeste con el afluente más occidental de la quebrada Yuyas en su margen izquierda y al Este con el drenaje más oriental de la quebrada Yuyas en su margen izquierda, definido por las coordenadas 632.769 N a la 633.274 N y 124 E a la 979.630 E.

La ubicación del relleno sanitario Antánas en el Departamento de Nariño y el plano de distribución del mismo respectivamente, se encuentra en el ANEXO C.

Las características de la zona son:

- altitud media: 2.700 m.s.n.m
- temperatura promedio: 13 grados centígrados
- precipitación media: 1.200 mm / año
- tipo de suelo predominante: limo arenoso
- topografía: montañosa
- pendientes: mayor de 15 % parte alta

## **6.3 OPERACIÓN, MANEJO Y FUNCIONAMIENTO**

Teniendo en cuenta que un relleno sanitario se construye desde el primer día, hasta el último día de su operación, por lo que no se enfocara en las actividades diarias de construcción, pues estas están inmersas en la operación. Entonces, se define la operación como una síntesis de residuos- maquinaria- hombre en un proceso que implica un manejo óptimo y control de residuos líquidos, gaseosos y sólidos procedentes de la descomposición de los residuos y las obras o estructuras que garantice una plena eficiencia del relleno sanitario. Estas operaciones en su mayoría son controladas por la Empresa Metropolitana de Aseo de la ciudad de Pasto EMAS S.A E.S.P, y son consideradas operaciones modernas y adecuadas.

El vaso I del relleno sanitario está completo y este hoy en día es utilizado como parque recreativo ecológico Antánas, para la preparación de los vasos II y III, antes de disponer los residuos, se debe descapotar el área destinada para la disposición, colocar el sistema de filtros para gases y drenajes. Luego, se procede a la impermeabilización del mismo mediante la colocación de una geomembrana que aísla el suelo natural de los residuos y proteger los recursos hídricos del lugar. Dicha membrana debe cumplir ciertas condiciones mecánicas, fisicoquímicas y biológicas de resistencia al ataque químico y bacteriológico a la que va ser sometida.

Las disposición de los residuos sólidos se realiza en plataformas que avanzan hacia arriba, método que lo condiciona la topografía y la forma del terreno, conformando plataformas de 7,5 m con una inclinación aproximada de 2:1 (H: V). sobre el suelo excavado se coloca una red de filtros los cuales tienen como finalidad evacuar las aguas subsuperficiales que convergen en cada uno de los vasos; luego se instala la geomembrana y el geotextil no tejido, los cuales se encargará de impermeabilizar el suelo, evitando así una posible contaminación del acuífero.

Una vez se tenga la plataforma futura completamente preparada con los drenes construidos y la geomembrana colocada; se depositan los residuos iniciando en la zona cerca al talud, es decir, se recuestan los residuos del día contra el talud, extendiéndolos de forma que se arme cada celda con las dimensiones especificadas; altura 2,5 m., ancho 5 m., largo 20 m, y luego se procede a la compactación mecánica. Este proceso se repite diariamente hasta conformar la plataforma (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

Los residuos que ingresan al Relleno Sanitario son previamente pesados en una báscula ubicada en un costado de la vía de acceso, luego son depositados por los vehículos recolectores en las plataformas, desde donde son arrastrados por un buldócer tipo D6 hasta el área de disposición o celda diaria, con el fin de esparcirlos sobre la misma, este equipo también cumple las funciones de compactación de los residuos a una densidad entre  $0,9 \text{ ton/m}^3$  a  $1,0 \text{ ton / m}^3$ , para que posteriormente se cubran con tierra o material de cobertura o temporalmente con una lona o plástico que cubra el área de la celda conformada (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

Antes de la disposición final, no se hace ningún tipo de tratamiento a los residuos, se emplean residuos inertes (tierra) como material de cobertura en una capa de aproximadamente 20 cm; a parte de este procedimiento hasta el momento no se ha realizado ningún tipo de sellado superficial definitivo; aunque el proyecto original contempla en su fase de clausura final, la colocación de una capa de cobertura definitiva de aproximadamente 60 cm de tierra, sobre la que se extenderá otra capa de 30 cm de cobertura vegetal para favorecer la recuperación paisajística del lugar. En síntesis, la operación del relleno sanitario Antánas comprende un conjunto de actividades ejecutadas no solo para efectuar la disposición final de los residuos que llegan hasta este sitio, sino que, se ejecutan muchas actividades adicionales.

En el ANEXO D se encuentra los registros históricos de operación y disposición anual con las proyecciones de diseño.

#### **6.4 CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

El relleno sanitario Antánas, entró en operación en marzo del año 2.001. En el Vaso I hasta ahora se han colocado unas 73.000 toneladas de desecho, en los años 2.002 y el 2.003 la cantidad media de residuos que diariamente se disponían en el relleno fue 210 a 220 toneladas. La Tabla donde se presentan las cantidades de residuos depositados y a depositar, según la proyección de los estudios y diseños se encuentra en el ANEXO E (EMAS S.A E.S.P, 2002).

La caracterización de los RSU que se realizó en el Municipio de San Juan de Pasto, de acuerdo a los lineamientos del RAS 2000 SECCION II TITULO F. dado que en el país no existe una metodología unificada para la caracterización de residuos sólidos cada empresa ha diseñado formas que permitan cumplir con lo que el RAS 2000 exige en materia de caracterización.

La clasificación y caracterización de los residuos sólidos deben tener al menos y estar de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Residuos de comida
2. Residuos de jardín
3. Productos de papel
4. Productos de cartón
5. Plástico
6. Caucho y cuero
7. Textiles
8. Madera
9. Productos metálicos
10. Vidrio
11. Productos cerámicos, ceniza, rocas y escombros
12. Huesos
13. Otros

En el ANEXO D, muestra la clasificación de los residuos sólidos urbanos de acuerdo a la composición física de los residuos, este especificando su porcentaje por estratos.

#### **6.5 PRODUCCIÓN DE GASES Y SISTEMA DE CONTROL**

Uno de los aspectos más importantes a controlar como subproducto en la operación de rellenos sanitarios es la producción de gases, en el relleno sanitario Antánas la valorización del biogás generado por los residuos sólidos urbanos, es controlada y supervisada desde el año 2.005 por BIONERSIS S.A. una empresa franco chilena especializada en el desarrollo de proyectos de valorización energética del biogás proveniente de residuos sólidos urbanos depositados en rellenos sanitarios o vertederos.

BIONERSIS S.A ingreso en la bolsa de París en julio de 2.007; y desarrolla su trabajo en América Latina y Asia del Suroeste. Cuenta con sedes regionales en Chile, Argentina, Perú Bolivia, República Dominicana, Brasil y Colombia.

En el marco del protocolo de Kioto BIONERSIS S.A desarrolla proyectos de captura y quema de biogás de rellenos sanitarios (FASE 1) y aprovechamiento energético del mismo (FASE 2); El objetivo principal es estudiar el potencial del biogás, diseñar, financiar y construir las instalaciones y operar el proyecto por 10 años. Manejar el

proceso de administración de la validación / certificación MDL del proyecto tanto a nivel local, como a nivel internacional y realizar la venta de los bonos de carbono.

En la ciudad de Pasto, la planta de desgasificación del relleno sanitario Antánas, es un trabajo en conjunto con EMAS S.A E.S.P. la planta contempla la construcción de un colector al cual se conecta 40 pozos verticales. El gas es conducido a una antorcha de 600 m<sup>3</sup>/h y la reducción de emisiones proyectada es de 25.000 CERs /año (BIONERSIS S.A, 2005).

El sistema de desgasificación efectúa una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a través de la combustión del Metano contenido en el biogás que se explota en los vertederos. En particular, cada proyecto de desgasificación contempla el diseño y la ingeniería del sistema de extracción del biogás en conformidad con las prácticas más avanzadas, incluyendo en particular la instalación de un sistema de extracción forzada del gas a partir de la colocación de pozos verticales interconectados a una red de tubería alimentando una antorcha de alta eficiencia.

#### **6.5.1 Descripción del sistema de desgasificación**

El sistema cuenta con una cubierta instalada sobre los residuos para así permitir optimizar la tasa de recuperación del gas del relleno, un sistema de tuberías recolectoras de gas, pozos, bombas de extracción y una antorcha de alta temperatura, un sistema de supervisión y un sistema de control de las variables de operación.

El sistema de recolección del biogás está constituido por una red de pozos y tuberías interconectados, funcionando a partir de una depresión forzada (por medio de bombas de extracción acopladas a la antorcha desarrollada por la Empresa Suiza *Hofstetter Umwelttechnik*, unos de los líderes mundiales en esta tecnología y fabricantes de las antorchas más eficientes en el mercado).

#### **6.5.2 Gestión y control de operación**

Para una adecuada operación y mantenimiento del sistema es necesario optimizar el funcionamiento del sistema con obtención de reducción de emisiones proyectadas a mantener o incrementar la capacidad operativa del sistema, demostrar la capacidad operativa mediante el control de las variables y minimizar la posibilidad de accidentes. La definición y el cumplimiento de programas de operación y mantención, como los mencionados a continuación permiten un buen control y operación del sistema, actividades y proceso como:

- Chequeo y verificación de las variables en terreno
- Registros de todas las variables operativas
- Evaluación de condiciones operativas de acuerdo a procedimientos de operación
- Regulación de la red de recolección de biogás
- Calibración de equipos de medición de gases en el sistema y analizador portátil
- Registros de calibración de equipos
- Verificación y análisis de datos adquiridos en el sistema de adquisición de datos
- Validación de información de acuerdo a registros de terreno

Con el cumplimiento de estos procesos, el control y la operación del sistema de desgasificación tendrán seguramente un funcionamiento óptimo del sistema y validación de información obtenida durante el proceso.

En el ANEXO F se encuentra los registros fotográficos e históricos de producción y contenido de Metano en el biogás para el año 2.010.

### **6.5.3 Componentes del sistema de desgasificación**

Los componentes más importantes del sistema de desgasificación, cada una de las cuales tiene su descripción al pie de cada componente del sistema; estas fueron suministradas por la supervisión del proyecto MDL del relleno sanitario Antánas a cargo de BIONERSIS S.A Pasto y se encuentran registradas en el ANEXO F.

## **6.6 PRODUCCIÓN Y SISTEMA DE CONTROL DE LIXIVIADOS**

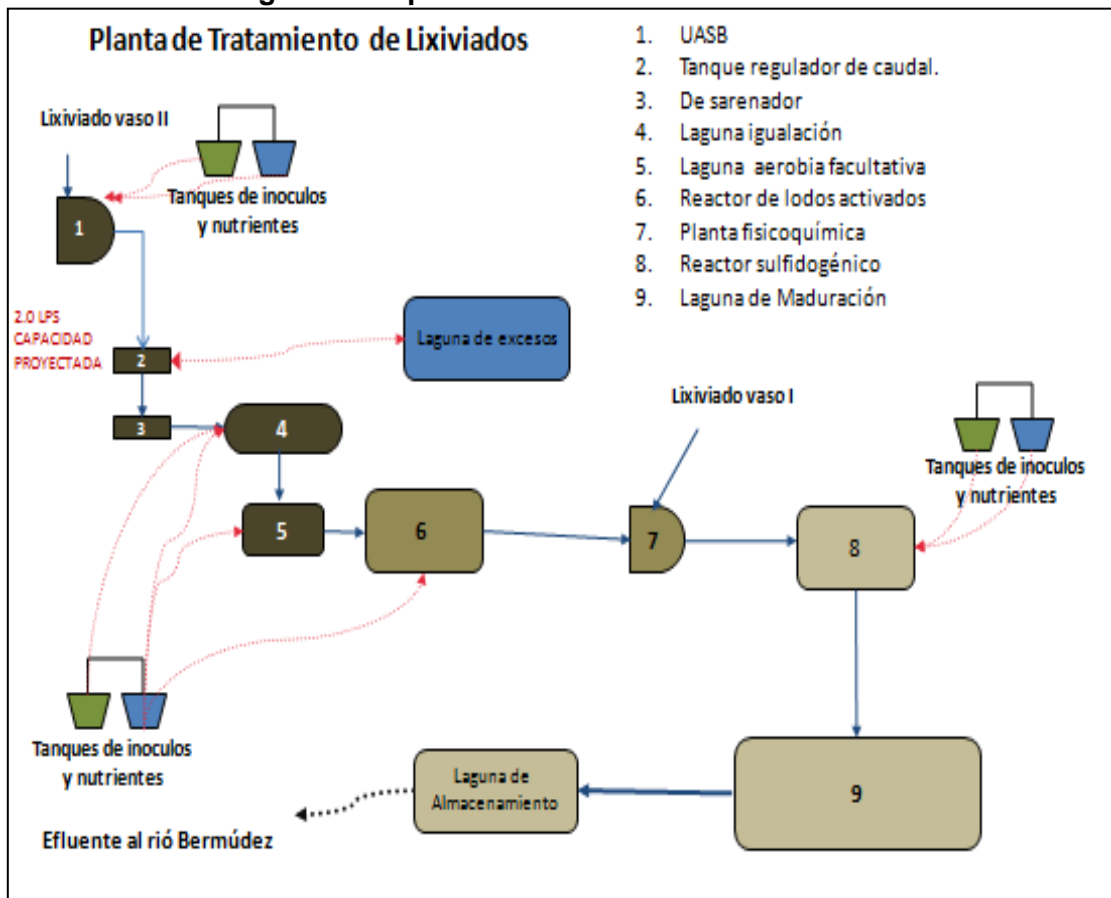
Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica y el agua que entra al relleno por la precipitación, los cuales al fluir, disuelven sustancias y arrastran partículas contenidas en los residuos. La composición de los lixiviados varía mucho de acuerdo con el tipo de residuos, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química y otras condiciones del lugar, pero todos coinciden en poseer una alta carga orgánica.

### **6.6.1 Configuración de la planta de tratamiento de lixiviados**

Actualmente en el relleno sanitario Antánas, se cuenta con un tren de tratamiento en operación compuesto básicamente por nueve unidades que corresponden al tratamiento biológico y fisicoquímico.

En la figura 24 se muestra el esquema del tratamiento de lixiviados que funciona actualmente en el relleno sanitario Antánas; conformado por 9 unidades de tratamiento (reactor UASB, tanque regulador de caudal, Desarenador, laguna de igualación, laguna aerobia facultativa, reactor de lodos activados, planta fisicoquímica, reactor Sulfidogénico y laguna de maduración) cada una de estas unidades se describen en el punto posterior, este es el esquema de tratamiento más actualizado de la empresa que de hecho es la fuente de información de la misma.

**Figura 5: esquema del tratamiento de lixiviados**



Fuente: EMAS S.A E.S.P

### 6.6.2 Descripción del tren de tratamiento de lixiviados

El lixiviado que se produce en el Vaso II, es conducido por gravedad al Reactor UASB y es preciso en ésta unidad donde se adiciona DAP (Diamonico Fosfato) para tener una relación adecuada de  $DBO_5/N/P$ , en éste reactor la operación se sucede de manera ascendente, entregándose el lixiviado crudo que proviene del vaso II al fondo del reactor a través de cuatro tubos distribuidos estratégicamente, donde lo recibe una capa de lodo, compuesto por bacterias Metanogénicas, que son las encargadas de remover una parte de la materia orgánica presente dentro del lixiviado. El lixiviado tratado fluye al tanque de almacenamiento de lixiviados y de éste al Tanque de bombeo, para posteriormente ser impulsado al tanque regulador de caudal; en éste tanque se acondiciona el caudal de lixiviado a entregar al Tren de Tratamiento a un máximo de 2 L/s, cabe anotar que si el caudal de lixiviado tratado proveniente del Reactor UASB supera los 2 L/s, el caudal excedente es desviado e ingresa a la laguna de excesos, laguna que como su nombre lo indica, sirve para almacenar los excesos de lixiviado tratado proveniente del Reactor UASB; luego, el lixiviado tratado pasa al desarenador que fluye por gravedad hacia la laguna de igualación, ésta laguna funciona como un reactor anaerobio, que opera con una concentración baja de microorganismos. La transformación biológica que aquí ocurre, depende del tiempo de retención y de la temperatura del lixiviado, cabe anotar que en caso de que se requiera, es precisamente es en ésta laguna, la unidad adecuada para realizar correcciones de pH y dosificaciones de nutrientes, el tratamiento continua a su

siguiente fase de tratamiento , en la laguna aireada facultativa, laguna en la cual se produce un buen efluente, gracias a que aquí se propicia una mayor área superficial de oxigenación, ésta laguna cuenta una capa anaerobia superficial, una zona facultativa intermedia y una capa anaerobia en el fondo, en ésta laguna, los procesos de oxidación bacteriana convierten el material orgánico en dióxido de carbono, amonio y fosfatos.

El lixiviado luego de cumplir su correspondiente tratamiento en la laguna Aireada Facultativa fluye hacia el Reactor de Lodos Activados, en ésta unidad, ocurre un proceso de lodo activo, proceso que consta de un reactor llamado Tanque de aireación, un tanque de sedimentación, reciclado de sólidos al tanque de aireación procedente del tanque de sedimentación y una línea de purga del lodo.

Continuando con el Tratamiento, el lixiviado efluente, tratado en el Reactor de Lodos Activados más el Lixiviado crudo y maduro proveniente del Vaso I, es sometido a un tratamiento primario avanzado en la Planta Fisicoquímica, tratamiento que tiene como fundamento la separación de sólidos suspendidos de los lixiviados y la remoción de color, utilizando para ello la técnica de desestabilización de coloides (coagulación) aglutinamiento de partículas (floculación) y recuperación de sólidos por gravedad (sedimentación).

El lixiviado proveniente del sistema de tratamiento primario avanzado (Planta Fisicoquímica) ingresa al Reactor Sulfidogénico, en éste reactor, la materia orgánica es removida por bacterias sulfato reductoras (SRB), en un ambiente anaeróbico, buscando una máxima reducción de sulfato, éste reactor Sulfidogénico, está conformado por tres secciones la sección (A, B y C), están a su vez compuestas por una serie de pantallas o baffles (geomembrana), que permiten un flujo del lixiviado de manera vertical y recurrente, ocasionando una sedimentación y desarrollo de biomasa (bacterias anaerobias sulfato reductoras), debido a la secuencia de flujos descendentes y ascendentes.

Finalmente el lixiviado efluente que fluye del Reactor Sulfidogénico ingresa a la Laguna de Maduración, laguna que corresponde a una clasificación de laguna de estabilización; La laguna de maduración, es considerada a la fecha, la última etapa del tratamiento dentro del Tren de Tratamiento, que en la actualidad se encuentra funcionando en el Relleno Sanitario Antánas.

En el ANEXO G se encuentra los caudales y composición de la cantidad de agua tratada para el año 2.010.

#### **Unidades que conforman el tren de tratamiento de lixiviados.**

Las unidades que componen el tren de tratamiento de lixiviados; son registros fotográficos que caracterizan el proceso de tratamiento de los lixiviados, estos tomados durante el trabajo de campo en su mayoría y algunas suministradas por EMAS S.A E.S.P; estos se encuentran en el ANEXO G.

## **7. DISEÑO METODOLOGICO**

El diseño metodológico para el desarrollo del inventario de emisiones sigue el esquema propuesto por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en las guías de inventarios de emisiones (MAVDT, 2006).

### **7.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO**

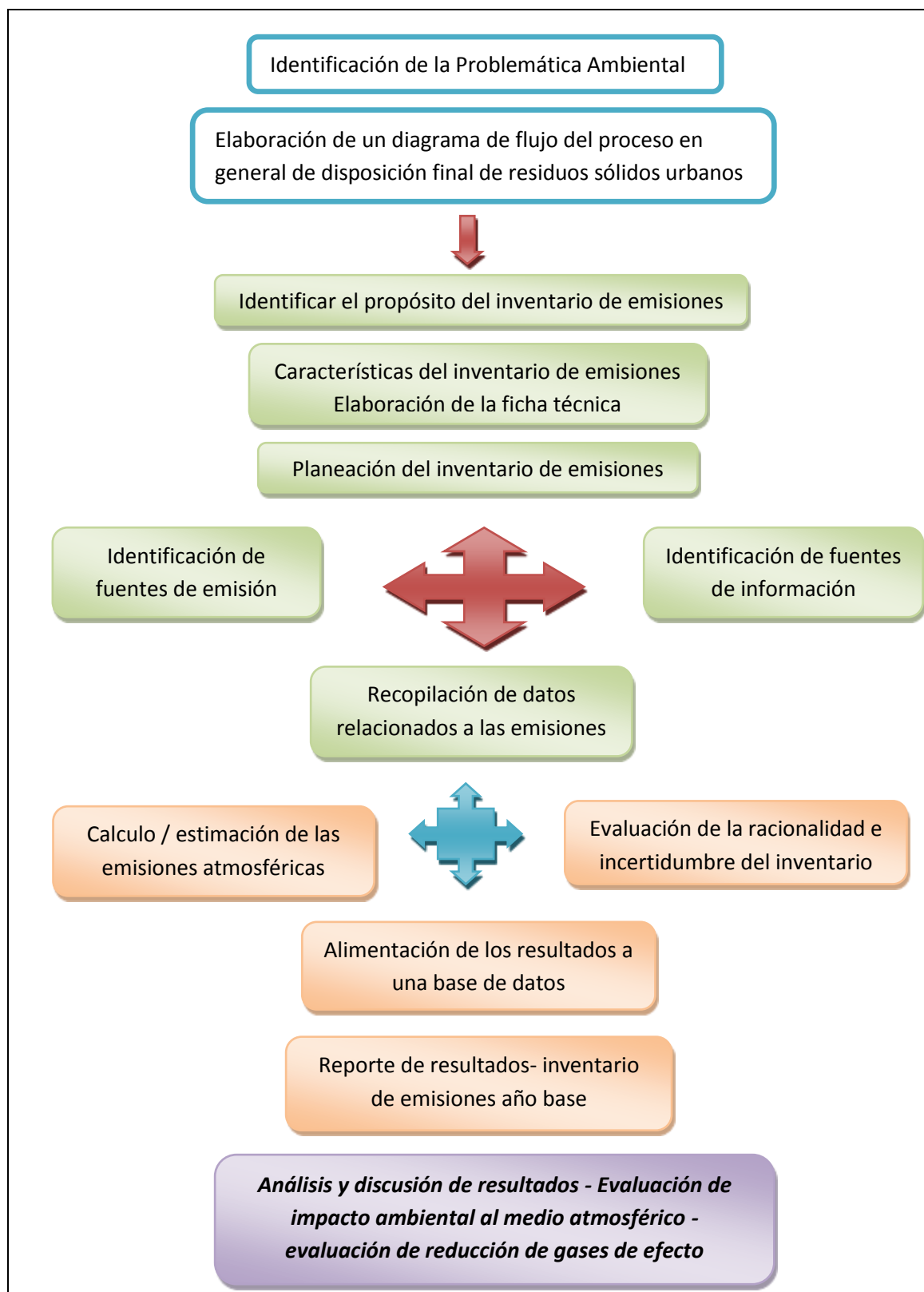
Como primer paso se debe realizar una profunda y detallada descripción del objeto de estudio, este permitirá identificar y definir la problemática ambiental y su magnitud en todos los aspectos posibles a analizar; no solo la zona de disposición, sino también como afecta esta actividad a toda el área de influencia; teniendo en cuenta la acción de la empresa prestadora del servicio y encargada de la operación, manejo y funcionamiento del relleno sanitario.

La descripción consiste debe ser fundamental en el momento de identificar las problemáticas ambientales y las deficiencias en los procesos y/o actividades, tanto industriales como administrativas entorno al “parque ambiental Antánas”; específicamente; además, la identificación de la existencia de un plan de gestión, vigilancia y monitoreo de calidad de aire (PGCA, SVCA y MCA), seguidamente por la identificación de las fuentes de emisión.

El diagrama de la figura 6 es una ampliación de las etapas estándares en la realización de un inventario de emisiones; además, actividades y tareas adicionales para dar inicio a la investigación, desde el propósito principal del inventario hasta el alcance del mismo, pasando por las fortalezas del proceso en general y así mismo teniendo en cuenta las debilidades del mismo.



**Figura 6: metodología general de la investigación**



*Fuente: elaboración propia*

## **7.2 RECONOCIMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL**

Las actividades que se llevan a cabo para identificar y establecer la magnitud de la problemática ambiental son principalmente trabajo de campo o visitas técnicas donde se identifican las fuentes de emisión más significativas; por otra parte evidenciar la problemática se logra con la aplicación de entrevistas y encuestas dirigidas especialmente a los administrativos de la empresa, encargados del sitio de disposición final y demás tecnologías de control y la comunidad de la periferia, con el objetivo de identificar las deficiencias y fortalezas en el proceso y demás actividades, así como también el grado de aceptación de este tipo de proyectos entre la comunidad implicada.

En la aplicación de las encuestas se toma como base las directrices del IPCC para la elaboración de cuestionarios en los inventarios de emisiones, estas se encuentran en ANEXO H.

## **7.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO INDUSTRIAL**

En inventarios de emisiones institucionales, es de carácter primordial la realización de un diagrama de flujo del proceso en general, en este caso de la disposición final de los residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario, pues este permitirá una mejor apreciación de todas y cada una de las actividades y/o procesos vinculados al normal manejo, funcionamiento y operación del relleno; además, una fácil identificación de los tipos y fuentes de emisión de contaminantes al medio atmosférico, así como también los factores asociados a estos y las entidades implicadas en el suministro de información, así se logra identificar los flujos de entrada y de salida de materias primas, productos y subproductos del relleno sanitario.

## **7.4 IDENTIFICAR EL PROPÓSITO DEL INVENTARIO DE EMISIONES**

La identificación del propósito del inventario es parte fundamental de todo el proceso de realización del inventario de emisiones, este es definido de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente tras una detallada identificación de la problemática ambiental y de definir o jerarquizar estas problemáticas de acuerdo a su magnitud o grado de afectación. Es bueno mencionar, que la definición del propósito del inventario no necesariamente debe ajustarse a una línea de acción, puede ser una combinación de las mismas.

## **7.5 DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS Y ELABORACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA DEL INVENTARIO DE EMISIONES.**

La elaboración de la ficha técnica del inventario de emisiones es una forma de simplificar las características más importantes del inventario. Para esto es necesario tener en claro el propósito del inventario de emisiones, el alcance y el dominio del mismo, el ámbito temporal, el SVCA asociado a la empresa, los contaminantes y fuentes en consideración, y finalmente algunas particularidades del inventario.

## **7.6 IDENTIFICAR LAS FUENTES DE EMISIÓN Y LAS FUENTES DE INFORMACIÓN**

La identificación de las fuentes de emisión se debe realizar a través de visitas técnicas y trabajo de campo, que consiste principalmente en el reconocimiento e identificación de los procesos y/o actividades al interior del parque ambiental Antánas, la recopilación de todos los procesos y posteriormente la clasificación de las actividades y/o procesos que aportan o no a la contaminación atmosférica.

## **7.7 SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES**

En una actividad como lo es la gestión de residuos sólidos urbanos, la disposición final de los mismos, es una actividad que requiere de una gran infraestructura, de complejos procesos y extensiones de territorio considerables; por esta razón es necesario identificar todas las fuentes generadoras de algún tipo de contaminante al medio atmosférico. Aun así, algunas fuentes de emisión son consideradas como fuentes menores, estas son fuentes que son parte de la base de datos pero que por su aporte no pueden ser consideradas como un aporte significativo a la contaminación atmosférica. Por ello, se debe hacer una especiación o clasificación de contaminantes y de sus respectivas fuentes de emisión, para que de acuerdo a los contaminantes considerados y a la información disponible se establezca la técnica o metodología de estimación de las emisiones.

## **7.8 RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA**

Finalmente, después de las visitas técnicas y todo el trabajo de campo; de identificar las fuentes de información y las metodologías de estimación, se debe recopilar toda la información que permita la estimación de emisiones, estas incluyen: factores de emisión, valores obtenidos de muestreos en la fuente si es el caso y parámetros de los modelos de factores de emisión. Los datos de la actividad y/o proceso productivo para las fuentes identificadas debe incluir información sobre las horas de operación, el consumo de combustibles, materia prima, producto terminado y otros datos de la actividad así como otra información más general como lo es la ubicación (coordenadas, municipio, dirección, permisos), áreas, etc. Toda esta información es recopilada de manera simultánea por medio de encuestas y consulta de información bibliográfica.

## **7.9 CALCULAR LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

En esta parte de la investigación se debe tener en cuenta varios aspectos; ya que después de contar con toda la información recopilada se procede a calcular las emisiones para cada tipo de fuente y cada contaminante a evaluar. Estos cálculos serán más o menos precisos de acuerdo con la técnica seleccionada y se realizan utilizando en algunos casos recursos electrónicos como hojas de cálculos, o en otros casos más avanzados, como la aplicación de software.

Tanto en la recopilación de datos como en la determinación de técnicas y el cálculo de las emisiones cumple un papel importante el plan de aseguramiento y control de la calidad de los datos, ya que de estas fases depende la calidad de los resultados que genere el inventario.

## **7.10 ALIMENTACIÓN A LA BASE DE DATOS**

La gestión de la información recopilada y los resultados obtenidos es una parte fundamental de la presentación de los resultados, ya que va directamente relacionado con la entrega final del producto que corresponde a una base de datos electrónica. En este caso, como es un inventario de emisiones institucional, son inventarios pequeños; por ello para la entrega del producto final se hace uso de hojas de cálculo de Excel.

## **8. DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO ANTANAS.**

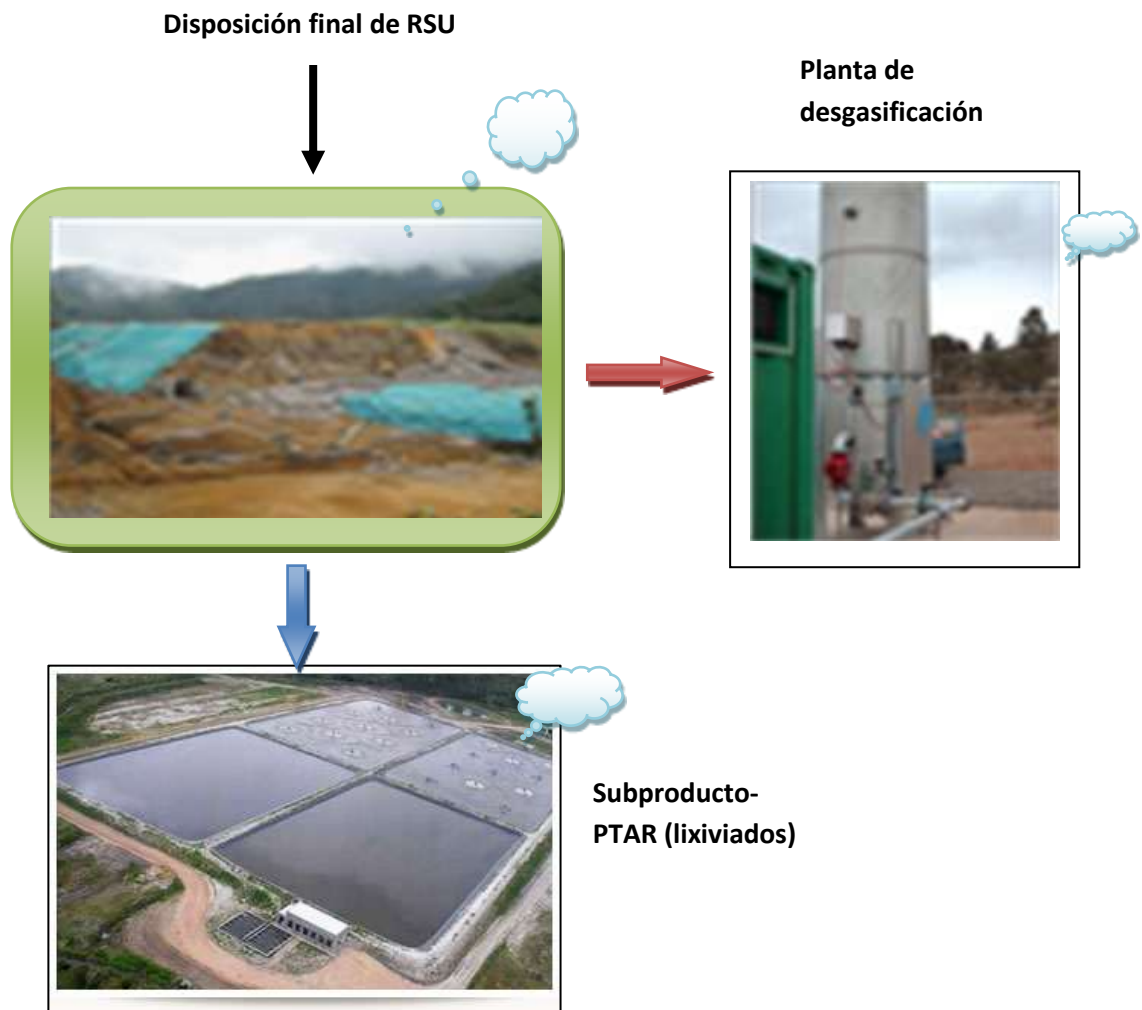
### **8.1 IDENTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA Y DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO INDUSTRIAL.**

Este proyecto ambiental, diseñado y operado principalmente con el objetivo de mitigar los impactos generados por la producción masiva de residuos sólidos urbanos en la ciudad de San Juan de Pasto; sin embargo, el relleno sanitario Antánas se convierte a su vez en un proceso industrial que genera otro tipo de impacto ambiental, además de la producción de lixiviados y su contaminación a las fuentes hídricas, este también emite sustancias contaminantes al medio atmosférico, afectando así el medio natural y la salud y bienestar de las comunidades aledañas. Objetivo principal de la presente investigación es cuantificar y cualificar estas emisiones atmosféricas y posteriormente identificar el grado de impacto ambiental generado por las actividades normales de la operación, manejo y funcionamiento del relleno.

Por otra parte, se identificó la ausencia de un PGCA e incluidos en este un sistema de monitoreo de la calidad del aire, a pesar de la implementación de excelentes tecnologías de control de la contaminación no se cuenta con un mecanismo de cuantificación de su eficiencia en cuanto a reducción de la contaminación en general. Ya en el área de calidad de aire y contaminación atmosférica, el relleno sanitario Antánas cuenta con una planta de desgasificación como proyecto de mecanismo de desarrollo limpio, aun así, no se cuenta con una estimación general de emisiones que permite cuantificar y evaluar la reducción de emisiones por parte de esta tecnología implementada y por ende el impacto ambiental del relleno sanitario como tal.

La figura 7 ilustra mejor la problemática ambiental generada por las actividades de operación y funcionamiento del relleno sanitario, mostrando los flujos de entrada y salida al reactor biológico como un diagrama de flujo.

Figura 7: diagrama de flujo del proceso de disposición



## 8.2 PROPOSITO Y ELABORACION DE LA FICHA TECNICA

El propósito del inventario de emisiones provenientes del relleno sanitario va de la mano con el objetivo principal de la investigación, y respondiendo a la problemática ambiental identificada es: ***“realizar el inventario de emisiones como instrumento estratégico de apoyo a la formulación del PGCA de la entidad”***.

El propósito de los inventarios de emisiones en Colombia se especifica de acuerdo a la actividad o sector industrial, así como también de acuerdo al objetivo a perseguir; aun así, esto no significa que deba regir a un solo independientemente, pues este puede ser una combinación de los mismos. Los Planes de Gestión de Calidad de aire (PGCA) son esenciales en este tipo de actividades industriales para garantizar la eficiencia en los procesos y operaciones, y para garantizar también un ambiente sano y bienestar a las poblaciones aledañas. Evidentemente esta es una de las falencias de la entidad que representa una gran problemática ambiental.

Junto con la identificación y definición del propósito del inventario de emisiones se elabora la ficha técnica del mismo; ésta es la caracterización del inventario que es definida por su propósito. La tabla 4 es la ficha técnica del inventario de emisiones

correspondiente al Relleno Sanitario Antánas, donde se caracteriza el inventario de emisiones. Se realiza además, una ficha técnica adicional donde se caracterizan particularidades del inventario, esta tabla se encuentra en el anexo I.

**Tabla 4: ficha técnica del inventario de emisiones RSA**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Propósito</b>	Apoyo estratégico técnico/científico en la formulación del PGCA de la entidad.
<b>Alcances</b>	Protocolo de manejo de información y alimentación de la base de datos. Definir zonas problemáticas. Identificar temas y/o actividades de interés ambiental particular.
<b>SVCA asociado</b>	No existe.
<b>Dominio</b>	Zona correspondiente al parque ambiental Antánas-disposición final de RSU.
<b>Ámbito Temporal</b>	Año base: 2.010 Resolución temporal: anual.
<b>Contaminantes Considerados</b>	Criterio (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)
<b>Tipos de Fuentes</b>	Fuentes fijas: chimeneas y/o ductos. Fuentes fijas dispersas: disposición de residuos (relleno sanitario) Fuentes dispersas o de área: planta tto. Lixiviados
<b>Fuentes No Consideradas</b>	Fuentes biogénicas.
<b>Particularidades</b>	Algunas fuentes no son consideradas por su nivel de influencia y/o por la información no disponible.

### **8.3 PLANEACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES**

Después de definir el propósito del inventario y su respectiva ficha técnica, la planeación del inventario es el desarrollo consecutivo de una serie de actividades y/o procesos para el cumplimiento de los objetivos de la investigación y el propósito del inventario. Este plan de trabajo se basa principalmente de definir la metodología central del inventario que es principalmente la identificación de las fuentes de emisión y su clasificación de acuerdo a la técnica de estimación que se va a aplicar.

La tabla 5 evidencia propiamente la planeación del inventario de emisiones, enfocando principalmente la metodología central.

**Tabla 5: planeación del inventario de emisiones**

<b>PLANEACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES</b>		
<b>I</b>	<b>ORGANIGRAMA</b>	Definido
<b>II</b>	<b>CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO</b>	Definido
<b>III</b>	<b>METODOLOGIA CENTRAL</b>	Identificación de procesos y/o actividades identificación de fuentes de emisión Identificación de fuentes de información
<b>IV</b>	<b>CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD</b>	Revisión de registros históricos repetición de cálculos
<b>V</b>	<b>FUENTES DE INFORMACION</b>	EMAS S.A E.S.P BIONERSIS CORPONARIÑO
<b>VI</b>	<b>PLANEACION LOGISTICA</b>	entrevistas registros fotográficos reconocimiento de la zona
<b>VII</b>	<b>HERRAMIENTAS DE GESTION DE DATOS</b>	Entrevistas Encuestas Registros históricos

*Fuente: elaboración propia*

#### **8.4 IDENTIFICACION DE FUENTES DE EMISION Y FUENTES DE INFORMACION**

Esta etapa del inventario va de la mano con el primer diagnóstico del relleno sanitario, del trabajo de campo e identificación de todos y cada uno de los procesos presentes en la zona de disposición de residuos sólidos. De esta etapa del inventario, se identificaron las fuentes de emisión presentes en el parque ambiental Antánas; esta identificación es general, aquí no se tiene en cuenta el aporte a la contaminación del medio atmosférico por cada fuente de emisión.

La tabla 6 muestra los resultados de este proceso con la Identificación de las fuentes de emisión presentes en el parque ambiental Antánas y asociado a cada una de estas la respectiva fuente de información.

**Tabla 6: identificación de fuentes de emisión y las fuentes de información**

<b>FUENTES DE EMISION</b>	<b>CONTAMINANTES</b>	<b>INFORMACION</b>	<b>TIPO DE INFORMACION</b>
<b>fuentes fijas puntuales</b>			
<b>Planta Desgasificadora</b>	Metano, sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono (gases criterio)	BIONERSIS	porcentajes de contenido, flujos volumétricos de biogás, registros históricos
<b>fuentes fijas de área</b>			
<b>Disposición de Residuos en la Tierra</b>	Metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno (gases criterio)	EMAS S.A E.S.P	registros históricos de disposición, características de operación y funcionamiento, y de la zona
<b>fuentes móviles</b>			
<b>Parque Automotor (camiones, volquetas)</b>	Material particulado y gases	EMAS S.A E.S.P, secretaria de tránsito municipal, INVIAS/DEVINAR	registros de pesaje, registros espacio temporales de operación
<b>fuentes fijas dispersas</b>			
<b>Planta de Tratamiento de Lixiviados</b>	Metano, dióxido de carbono, sulfura de hidrogeno, fosfatos, nitratos	EMAS S.A E.S.P	registros históricos de volumen de aguas tratadas, diseño y operación de la PTL
<b>fuentes diversas</b>			
<b>Celdas de Almacenamiento y Vías de Acceso</b>	Material particulado	EMAS S.A E.S.P	operación diaria del relleno sanitario

*Fuente: elaboración propia*

### **8.5 SELECCIÓN DE LOS METODOS DE ESTIMACION DE EMISIONES**

Esta es la principal etapa del inventario de emisiones; pues tiene lugar la recolección de todos los datos y la información disponible, la clasificación y selección de las técnicas y herramientas de estimación de emisiones. De acuerdo a la selección del método de estimación este permitirá tener valores más o menos aproximados y representativos de las emisiones; sin embargo, esto depende de la disponibilidad y calidad de la información que requiere cada técnica.

Para la selección de los métodos de estimación se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- La disponibilidad de datos de calidad aceptables para las estimaciones
- Practicidad del método para categoría de fuente
- Propósito del inventario



- Interés particular en una categoría de fuente (no se toma en cuenta algunas fuentes de emisión)
- Tiempo disponible para el inventario
- Recursos disponibles de personal y económicos.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos la tabla 7 muestra la selección y clasificación de los métodos de estimación para las fuentes de emisión que se tomarán en cuenta en el inventario de emisiones de acuerdo a su aporte de sustancias contaminantes al medio atmosférico.

**Tabla 7: métodos de estimación de emisiones RSA**

FUENTES DE EMISION	COMPONENTES	CONTAMINANTES	METODOS DE ESTIMACION
<b>Planta de Desgasificación</b>	Antorcha ppal. Pozos y red captación	Gases criterio (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	Comparación de emisiones reales
<b>Planta de Tratamiento de Lixiviados</b>	Lagunas aeróbicas, anaeróbicas, reactor de lodos, etc.	Gases criterio (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	Factores de emisión de acuerdo al proceso
<b>Zona de Disposición Final</b>	Celdas de disposición final	Gases criterio (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	Modelación, modelo LandGEM (gases de rellenos sanitarios)
<b>Actividades de Transporte y Almacenamiento</b>	Camiones de transporte-preparación del terreno	Gases criterio (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	Factores de emisión de acuerdo al proceso

*Fuente: elaboración propia*

Por lo anterior es necesario aclarar, que algunas de las fuentes de emisión identificadas en el proceso no se tomarán en cuenta para la estimación de emisiones; ya sea por su bajo aporte a la contaminación atmosférica o en su mayoría porque no se ven involucradas en el proceso y actividades del normal funcionamiento y operación del relleno sanitario Antánas, estas son: las fuentes móviles y las fuentes biogénicas.

## 8.6 CÁLCULO DE EMISIONES

Para las estimaciones de emisiones al medio atmosférico provenientes del relleno sanitario Antánas, se inicia con las fuentes de emisión más significativas en cuanto a su aporte de sustancias contaminantes al medio atmosférico; iniciando con las fuentes fijas puntuales que corresponde a las celdas de disposición final, las actividades de almacenamiento, compactación y preparación del terreno. Seguidamente de las fuentes fijas dispersas, en este caso la planta de tratamiento de lixiviados y finalmente las fuentes móviles que corresponden al parque automotor, a continuación se hace las estimaciones correspondientes a cada fuente de emisión identificada.

### 8.6.1 Fuentes fijas dispersas

**Celdas de disposición final:** La zona de disposición final o las celdas de almacenamiento de residuos es la fuente de emisión más importante por su aporte a la contaminación atmosférica, la estimación de emisiones se hace mediante el uso del segundo método de estimación más confiable de acuerdo al esquema de jerarquía.

El modelo seleccionado para esta fuente de emisión se denomina LandGEM en su versión 3.02 es un modelo matemático desarrollado por la *EPA-United States Environmental Protection Agency* en mayo del 2001; esta es una herramienta utilizada para la estimación de las tasas de emisión de gases de los rellenos sanitarios, emisiones de contaminantes como Metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos no metánicos y contaminantes de aire individuales. Para la evaluación de este modelo de emisiones, el proceso se llevó a cabo con la definición de las siguientes etapas; esto se hizo con el fin de hacer el proceso más dinámico y efectivo.

#### **A. Criterios y suposiciones de aplicación.**

Para estimar las emisiones atmosféricas del relleno sanitario Antánas, para el año base 2010 se desarrolla usando las siguientes suposiciones y criterios:

- **Historial de disposición de residuos:** la Empresa Metropolitana de Aseo de Pasto EMAS S.A E.S.P, proporcionó la información adecuada en cuanto a los índices de disposición anual hasta diciembre del 2010 y las proyecciones hasta el año de cierre del lugar. El crecimiento anual de la disposición de residuos es aproximadamente 1,04 % hasta que el relleno sanitario alcance la capacidad máxima de 3'558.165 toneladas (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).
- **Potencial de recuperación de Metano (Lo):** El Potencial de recuperación de Metano es la cantidad de Metano producido por una unidad de masa de residuos. **Lo** está en función del contenido orgánico en los residuos. El valor de **Lo** es teóricamente independiente del contenido de humedad, por ello de acuerdo con los datos y antecedentes analizados para su determinación en el relleno sanitario Antánas, se establecen tres escenarios de evaluación, el primero tomando los valores recomendados por la EPA para vertederos en Suramérica, el segundo haciendo uso de cálculos estequiométricos convencionales de ajustes por contenido orgánico en los residuos y capacidad de degradación de los mismos, y finalmente el tercer escenario de evaluación tomando un valor aproximado de estudios ya realizados y antecedentes en Colombia y en países con una composición de residuos sólidos similar.
- **Tasa de generación de Metano (K):** El índice de decaimiento de Metano está en función del contenido de humedad en los residuos, la disponibilidad de nutrientes, el pH, y la temperatura. Como se ha mencionado anteriormente, para la evaluación de este parámetro en el relleno sanitario Antánas, a diferencia del potencial de recuperación de Metano **Lo**; que se obtiene tres valores diferentes, el valor de **K**, será el mismo en los tres escenarios de evaluación, pues es muy difícil establecer el nivel de humedad en los residuos, por eso este se define de acuerdo a la precipitación media anual de la zona; este valor es el mismo recomendado por la EPA y el mismo utilizado en los cálculos convencionales.
- **Concentración de Compuestos Orgánicos No Metánicos-NMOC;** el contenido de compuestos orgánicos no metánicos está en función del tipo de residuos en el relleno y la prolongación de las reacciones químicas al interior del reactor; además de la eliminación de residuos peligrosos (caso que no aplica al objeto de estudio en cuestión); la EPA se va a dos situaciones para asignar el valor de este parámetro; a la eliminación de residuos peligrosos, en el caso que no se haga eliminación de residuos peligrosos el valor

predeterminado es de 600 ppm(v), y en caso de que se haya producido eliminación de residuos peligrosos el valor es de 2400 ppm(v) (Environmental Protection Agency (EPA), July 1993) .

- **Contenido de Metano en el biogás;** el contenido de Metano se adopta teóricamente como 50 % Metano y 50% dióxido de carbono para el caso de los valores recomendados por la EPA, para los dos últimos escenarios de evaluación se tomara el valor real-experimental de la generación de Metano para el año base de estimación (2010) que fue de 44,7 % aproximadamente.
- **Selección de contaminantes,** en la selección de contaminantes a modelar se tendrán principalmente Metano, dióxido de carbono, NMOC y sulfuro de hidrogeno (por presencia de olores ofensivos).

## B. Alimentación al modelo.

### ▪ Sección 1: introducción a escenarios de evaluación

La dinámica que se efectuara para la alimentación del modelo será la construcción de tres escenarios de evaluación a saber:

- **Escenario 1: RELLENO SANITARIO ANTANAS – EPA:** este escenario de evaluación responde a datos teóricos que recomienda esta misma entidad para casos de estudio en Latinoamérica (los parámetros recomendados son *Ko*, *Lo*, *NMOC* y *el contenido de Metano*)
- **Escenario 2: RELLENO SANITARIO ANTANAS – cálculos convencionales:** en este escenario los parámetros de evaluación se adquieren por cálculos convencionales de ajustes por contenido orgánico en los residuos, solo en el caso de *Ko* se toma el valor recomendado por la EPA.
- **Escenario 3: RELLENO SANITARIO ANTANAS – Antecedentes en Latinoamérica:** en este escenario de evaluación los parámetros de toman de estudios anteriores al tema, para este caso se analizan 6 casos en Latinoamérica y se aproxima a las condiciones del relleno sanitario Antánas para establecer una mayor proximidad de los resultados.

Es importante afirmar que los tres escenarios mencionados se ejecutan con el fin de identificar y establecer la mejor aproximación de los parámetros de modelación en LandGEM; en comparación con la emisión y comportamiento real de biogás en el relleno sanitario Antánas, información proporcionada por BIONERSIS S.A.

### ▪ Sección 2: Características del relleno sanitario

**Año de apertura,** el relleno sanitario Antánas dio apertura de disposición de residuos sólidos en el lote Antánas en el año 2001.

**Año de cierre,** aunque según la información suministrada por la empresa EMAS S.A E.S.P el año de cierre está estipulado para el año 2029, se dará la opción al modelo para que éste lo calcule automáticamente, para tener un criterio más eficiente de análisis y evaluación (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

**Capacidad de diseño,** la capacidad de diseño del lote Antánas para disposición final de residuos sólidos es de 3'558.165 ton con un promedio de disposición de 750.000 ton/año, esta información es suministrada por la empresa EMAS S.A E.S.P y la tabla 16 sintetiza esta información (EMAS S.A E.S.P Pasto, 2006).

**Historial de disposición:** un registro histórico de la disposición de residuos sólidos año tras año desde el año de apertura se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8: historia de disposición de residuos**

AÑO	PRODUCCION (ton / año)
2001	81.379
2002	83.170
2003	81.379
2004	83.170
2005	84.999
2006	86.869
2007	88.781
2008	90.734
2009	92.730
2010	94.770

*Fuente: EMAS S.A E.S.P*

### C. Cálculos de los parámetros de evaluación del modelo.

#### ▪ Sección 3: Parámetros del modelo

##### **Cálculo de la tasa de generación de Metano, $K$ (1/año)**

La generación de biogás producido por la degradación de los residuos dispuestos en un relleno sanitario, es un parámetro importante de establecer, por eso se evalúa para cada escenario de evaluación; para el primer escenario (datos de la EPA) la tabla 9 muestra los valores recomendados por la EPA para la aplicación y evaluación del modelo LandGEM en casos de Latinoamérica.

**Tabla 9: valores de  $K$  recomendados por la EPA**

PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (mm / año)	$K$ (1/ año)	$Lo$ (m <sup>3</sup> /ton)
0 – 249	0,04	60
250 – 499	0,05	80
450 – 999	0,065	84
$\geq 1000$	0,08	84

*Fuente: EPA , 1997*

Para el tercer escenario de evaluación; los antecedentes en Latinoamérica y Centroamérica, SCS ENGINEERS una firma estadounidense asociada con la EPA, son pioneros en el mundo en la evaluación de biogás y estudios de pre-factibilidad de usos sostenibles de biogás; en los estudios se hace uso de esta misma metodología de estimación (modelación de emisiones con LandGEM versión 3.02); de estos estudios se logra identificar y se clasifica los casos más representativos, los cuales tienen una caracterización de residuos sólidos urbanos similar a la caracterización y composición fisicoquímica de los residuos sólidos del relleno sanitario Antánas, de este análisis los casos más representativos son:

- Relleno sanitario de Montevideo, Montevideo, Uruguay
- Relleno sanitario Huaycoloro, Lima, Perú
- Relleno sanitario Querétaro, Querétaro, México

- Relleno sanitario Chihuahua, Chihuahua, México
- Relleno sanitario Combeima, Ibagué, Colombia
- Relleno sanitario El Carrasco, Bucaramanga, Colombia

Esta comparación permite evaluar y establecer los valores de la tasa de generación de Metano K, y los valores del potencial de generación de Metano Lo. La tabla 10 resume la información más importante de cada caso que se seleccionó para la comparación.

**Tabla 10: comparación de valores de k y Lo rellenos sanitarios como antecedentes.**

<b>RELLENO SANITARIO</b>	<b>K (1/AÑO)</b>	<b>Lo (m<sup>3</sup>/ton)</b>
Montevideo Montevideo, Uruguay	Degradación alta=0.28 Degradación media=0.056 Degradación baja=0.014	68
Huaycoloro Lima, Perú	Degradación alta=0.09 Degradación media=0.018 Degradación baja=0.0045	59.1
Querétaro Querétaro, México	Degradación alta=0.14 Degradación media=0.028 Degradación baja=0.007	73.1
Chihuahua Chihuahua, México	Degradación alta=0.10 Degradación media=0.020 Degradación baja=0.005	63.2
Combeima Ibagué, Colombia	Degradación alta=0.40 Degradación media=0.08 Degradación baja=0.020	75.7
El Carrasco Bucaramanga, Colombia	Degradación alta=0.27 Degradación media=0.054 Degradación baja=0.0135	79.9

*Fuente: elaboración propia*

Teniendo en cuenta que el relleno sanitario Antánas presenta una degradabilidad media, y de acuerdo a la clasificación y caracterización de los residuos sólidos; con una profunda y detallada comparación de los factores mencionados anteriormente en los seis casos de estudio como antecedentes, el caso más aproximado en valores a la composición física y química de los residuos sólidos es el caso del relleno sanitario “EL CARRASCO” en Bucaramanga. Con valores en los parámetros de modelación de:

$$K = 0.054 \text{ años}^{-1} \text{ y } Lo = 79.9 \approx 80.$$

#### **Cálculo del potencial de generación de Metano, Lo (m<sup>3</sup>/ton)**

Para determinar el valor de este parámetro en los tres escenarios de evaluación mencionados anteriormente, al igual que el anterior parámetro, se sintetiza el análisis en la siguiente información.

**Escenario 1:** En este escenario que es de acuerdo a los datos recomendados por la EPA; los valores fueron consignados en la tabla 18 y se basan en los niveles de precipitación media anual de la zona, con ello el valor de **Lo** correspondiente a este escenario de evaluación es de **Lo= 84 m<sup>3</sup>/ton**.

**Escenario 2:** En este escenario que corresponde al uso de cálculos convencionales estequiométricos, se basan principalmente en el contenido orgánico degradable de los

residuos sólidos; este es un método de una sola variable, no hay factores de tiempo, es aplicable a secciones de velocidad constante y la hipótesis planteada es que el biogás se libera inmediatamente al primer año de disposición; para los cálculos es necesario la caracterización de los residuos sólidos, datos consignados en la tabla 11.

**Tabla 11: composición física de los residuos sólidos urbanos**

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>PROMEDIO (%) Relleno sanitario Antánas</b>
Residuos de comida	40,0
Residuos de jardín	32,7
Papel	2,6
Cartón	1,7
Plástico	8,0
Caucho y cuero	1,3
Textiles	0,9
Madera	0,8
Vidrio	1,7
Cenizas, rocas y escombros	2,2
Huesos	0,09
Icopor	0,3
Papel higiénico y desechables	8,5
<b>TOTAL</b>	<b>99.9</b>

*Fuente: caracterización de RSU- EMAS S.A E.S.P*

#### **CALCULOS ESTEQUIOMETRICOS:**

##### ▪ **Carbono Orgánico Degradable, DOC**

De la fórmula:

$$DOC = 0.4 A + 0.17 B + 0.15 C + 0.30 D \quad (1)$$

Dónde:

- A: residuos de papel y textiles (%)
- B: residuos de jardín (%)
- C: residuos de comida (%)
- D: residuos de madera (%)

Según la composición física de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de San Juan de Pasto de la tabla anterior se tiene:

$$DOC = 0.4 * (3.63) + 0.17 * (32,7) + 0.15 * (40) + 0.30 * (0.8)$$

$$DOC = 13,25 = 13 \%$$

##### ▪ **Generación de Metano, Q CH<sub>4</sub>, (ton/año)**

De la fórmula:

$$Q, CH_4 = W_{dep} * f * DOC * fr * (16/12) \quad (2)$$

Dónde:

W dep: residuos depositados (2001-2010)

Wdep= 795416,5 ton

f: condiciones físicas

f=0.5

fr: fracción de Metano en el biogás

fr=44.7 % = 0.447

DOC: carbono orgánico degradable

DOC= 25 % = 0.25

$$Q, CH_4 = (795416,5 \text{ ton}) * 0.5 * (13/100) * (0.447) * (16/12)$$

$$Q, CH_4 = 3081,44 \text{ ton/año}$$

- **Potencial de Generación de Metano,  $L_o$  ( $m^3/ton$ )**

De la fórmula:

$$L_o = f * DOC * fr * \left(\frac{16}{12}\right) \quad (3)$$

$$L_o = 0.5 * 0.13 * 0.44 * (16/12)$$

$$L_o = 0.04 \text{ ton } CH_4/\text{ton res}$$

Por la conversión:

$$L_o = \frac{0.07902 \frac{\text{ton } CH_4}{\text{ton res.}}}{0.000717 \frac{\text{ton } CH_4}{m^3}} = 55,8 \frac{m^3}{\text{ton res.}}$$

(Densidad del Metano= 0.717 Kg/m<sup>3</sup>)

Se define entonces el valor de  **$L_o = 55,8 = 56 m^3/ton$** .

**Escenario 3:** en este escenario en el que se estudian antecedentes de casos reales en Latinoamérica y Centroamérica, especialmente tomando los informes de pre-factibilidad de SCS ENGINEERS, en total se estudiaron seis casos, que después de una profunda y detallada comparación con el objeto de estudio de la investigación en cuanto aspectos como: precipitación media anual, caracterización y composición de los RSU, degradación de los residuos; se determinó que el caso más aproximado a los aspectos mencionados anteriormente es el relleno sanitario “El Carrasco” de Bucaramanga con valores de  **$K = 0,054$  y  $L_o = 56$** .

#### **Concentración de NMOC (ppm (v))**

El contenido de compuestos orgánicos no metánicos, se lo atribuye a la situación de la eliminación de residuos peligrosos en el relleno sanitario, tomando como valores en el caso de realizarse la eliminación de residuos peligrosos en el relleno el valor para compuestos orgánicos no metánicos (NMOC) es de 2.400 ppm (v), caso contrario de no ejecutarse la eliminación de residuos peligrosos el valor es de 600 ppm (v).

Para el caso del relleno sanitario Antánas no se efectúa eliminación de residuos peligrosos, por tanto el valor a seleccionar en el contenido de compuestos orgánicos no metánicos es de **600 ppm(v)** para los tres escenarios de evaluación.

#### **Contenido de Metano en el biogás**

Para uso del modelo LandGEM, teóricamente los gases de un relleno sanitario asumen un contenido de Metano del 50% y de dióxido de carbono de un 50%, junto con otras constituyentes en trazas de NMOC y otros contaminantes del aire. Este valor corresponde al escenario de evaluación con valores recomendados por la EPA; en los dos restantes, cálculos convencionales y datos de antecedentes se toma el valor real experimental que corresponde al 44,7 % de Metano contenido en el biogás (BIONERSIS S.A, 2005).

### **D. Selección de gases a modelar.**

- **Sección 4: Selección de gases de emisión**

En la alimentación del modelo LandGEM se puede elegir hasta cuatro gases o contaminantes atmosféricos que se modela a la vez. A continuación en la tabla 21 se

muestran los gases y contaminantes contenidos en la base de datos del modelo LandGEM y los seleccionados son:

**Gas Metano  $CH_4$** , de las emisiones al medio atmosférico por parte del Metano, este gas contaminante es el principal compuesto de interés de modelación en rellenos sanitarios, tanto por su potencial de calentamiento global 21 veces mayor al dióxido de carbono, como por su potencial como pasivo económico en la producción de energías alternativas. El Metano se emite en una proporción del 40 al 50 % de contenido en el biogás. Los rellenos sanitario son los responsables entre el 8 y el 12 % del total de emisiones antropogénicas del  $CH_4$  producido en todo el mundo (Fornieles J. A., 2006).

**Dióxido de carbono  $CO_2$** , las emisiones por parte del dióxido de carbono están alrededor del 30 al 60 % del total del biogás producido por las actividades de los rellenos sanitarios (Fornieles J. A., 2006). Determinar los niveles de emisión de este contaminante, es importante en este estudio para la cualificación y cuantificación del impacto ambiental generado y la reducción de la misma por parte de la planta desgasificadora presente en el relleno sanitario Antánas como técnica de control.

**Sulfuro de hidrogeno  $H_2S$** , está presente en las emisiones atmosféricas del 1 al 5% en volumen por segundo, este es un gas tóxico que produce un olor desagradable y característico. Se produce de forma natural por putrefacción de la materia orgánica, en el fondo de los lagos y las balsas que se encuentran en condiciones anaeróbicas, en ausencia de oxígeno. Su importancia radica en que es el causante de olores ofensivos que son altamente perjudiciales para la salud de la comunidad aledaña, su fácil transporte debido a la acción de los vientos hacen que estos olores ofensivos alcancen grandes distancias y por ende provoquen daños irreversibles en la salud y el bienestar de las personas (Fornieles J. A., 2006).

Finalmente, se sintetiza la información de los parámetros de cálculo y demás variables en los tres escenarios de evaluación consignados en la tabla 12:

**Tabla 12: escenarios de modelación de emisiones relleno sanitario Antánas.**

ESCENARIO DE EVALUACION	VALOR DE $k$ (1/AÑOS)	VALOR $Lo$ ( $m^3/ton$ )	NMOC (PPM(V))	CONTENIDO METANO
<i>Valores recomendados por la EPA, para Suramérica</i>	0.08	84	600	50 %
<i>Valores ajustados por cálculos estequiométricos convencionales</i>	0.08	56	600	44,7 %
<i>Valores aproximados por antecedentes de estudios de biogás</i>	0.054	80	600	44,7 %

*Fuente: elaboración propia*

NOTA: todo el proceso detallado de alimentación del modelo de emisión LandGEM (daos de alimentación, tablas de disposición, etc.) se encuentra en el ANEXO I.

### 8.6.2 Fuentes fijas dispersas

**Planta de tratamiento de lixiviados:** esta fuente de emisión también representa un aporte de sustancias contaminantes al medio atmosférico. En un principio se trató de aplicar un modelo informático para la estimación de emisiones, pero la información



disponible de la planta de tratamiento de lixiviados no fue suficiente para modelar este proceso. Por esta razón y siguiendo el esquema de jerarquía en las técnicas de estimación se elige estimar las emisiones provenientes de la planta de tratamiento de lixiviados (PTL) con “factores de emisión”; y a continuación se explica con detalles esta técnica:

- **Fundamento de aplicación**

En cuanto al empleo de factores de emisión para el cálculo de las emisiones provenientes de PTL se ha encontrado dos tipos de factores de emisión aplicable al tratamiento de aguas residuales industriales, comerciales y domésticas.

El factor de emisión recomendado para ser aplicado en la estimación de emisiones generadas en el tratamiento de aguas industriales, estos valores son estipulados por la EPA bajo reportes del año 1984 de los Estados Unidos sobre el volumen total descargado de las plantas de tratamiento y una estimación sobre emisión anual de COV's por las industrias la cual se encuentra sustentada por las investigaciones realizadas en el país. El factor de emisión definido por la EPA para COV's es:

$$FE, COV's = 1,1 * 10^{-5} lb COV's / gal = 1,3 * 10^{-5} Kg COV's/L$$

Además, la EPA recomienda que, en caso de no conocer la cantidad anual real de agua residual industrial tratada, se asuma un valor por omisión del 16 % del flujo total anual del promedio nacional. Este valor por omisión está basado en datos de los Estados Unidos, por lo cual tiene una aplicación limitada en Colombia, por lo cual es preferible conocer el valor real de aguas industriales tratadas anualmente y el dato del volumen total de agua residuales de ambos tipos tratada anualmente (MAVDT, 2008).

- **Criterios y datos de aplicación**

La información requerida para la estimación de emisiones de contaminantes generadas por la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (lixiviados) se explica en la tabla 13.

**Tabla 13: información necesaria para aplicar factores de emisión**

DATOS NECESARIOS	FUENTES
Volumen total de aguas residuales tratadas a nivel nacional (anual)	Ministerio de Ambiente Indicadores ambientales
Cantidad de aguas residuales industriales tratadas (anual)	Empresa prestadora del servicio- EMAS S.A E.S.P
Factor de emisión	AP 42- EPA

*Fuente:* (Environmental Protection Agency (EPA), November 1989)

En la tabla 14 se clasifican y determinan los factores de emisión que se aplican a la planta de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Antánas recomendados por la EPA.

**Tabla 14: factores de emisión utilizados.**

FACTORES DE EMISION	VALOR
Compuestos orgánicos volátiles – COV's	$1,3 * 10^{-5} Kg /l$
Dióxido de Carbono- CO <sub>2</sub>	0,3391 Kg /l
Metano – CH <sub>4</sub>	$3,7 * 10^{-3} Kg/L$

*Fuente:* (Environmental Protection Agency (EPA), November 1989)

- **Información Requerida**

Como factores de emisión, este procedimiento requiere datos de actividades o flujos; en este caso se cuenta con los valores de caudales de lixiviado tratado, la tabla 15

muestra los datos de caudales para el año base del inventario de emisiones 2010 (EMAS S.A E.S.P, 2010):

**Tabla 15: caudales de agua (lixiviado) tratada para el año base 2010**

<b>CAUDAL DE SALIDA (EFLUENTE-VERTIDO) AÑO 2010</b>		
	<b>m<sup>3</sup>/día</b>	<b>l/año</b>
<b>ENERO</b>	0	0
<b>FEBRERO</b>	265,5	96.907.500
<b>MARZO</b>	92,9	33.908.500
<b>ABRIL</b>	87,5	31.937.500
<b>MAYO</b>	0	0
<b>JUNIO</b>	54,5	19.892.500
<b>JULIO</b>	67	24.455.000
<b>AGOSTO</b>	67,5	24.637.500
<b>SEPTIEMBRE</b>	69	25.185.000
<b>OCTUBRE</b>	72	26.280.000
<b>NOVIEMBRE</b>	73	26.645.000
<b>DICIEMBRE</b>	67	24.455.000
<b>PROMEDIO</b>	<b>76,325</b>	<b>27.858.625</b>

Fuente: EMAS S.A E.S.P

Nota: los valores para los meses de enero y mayo están en cero a causa de mantenimiento y desvío a la laguna de excesos respectivamente.

La tabla 16 contiene los datos de cálculo, factores de emisión y contaminantes a estimar:

**Tabla 16: factores de emisión y contaminantes a tener en cuenta.**

<b>CONTAMINANTES</b>	<b>FACTOR EMISION</b>	<b>FORMULA DE CALCULO</b>
	<b>KG/L</b>	
<b>METANO</b>	0,00000371	<i>Emision = Vat * FE</i>
<b>DIÓXIDO DE CARBONO</b>	0,0003391	<i>Emision = Vat * FE</i>
<b>COV's</b>	0,000000013	<i>E. COV's = Vat * FE</i>

Fuente: (Environmental Protection Agency (EPA), November 1994)

- **Cálculos de las emisiones**

**Emisiones de Metano:**

$$E. CH = Vat * FE = \frac{26377333 \text{ lt AT}}{\text{año}} * \frac{(3.71 * 10^{-6}) \text{ Kg CH}_4}{\text{lt}} * \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$E. CH_4 = 0,10 \text{ CH}_4 \text{ ton/año}$$

**Emisiones de dióxido de carbono:**

$$E. CO_2 = Vat * FE = \frac{26.377.333 \text{ lt AT}}{\text{año}} * \frac{(3.39 * 10^{-4}) \text{ Kg CO}_2}{\text{lt}} * \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$E. CH4 = 8.94 CO2 ton/año$$

#### **Emisiones de compuestos orgánicos volátiles:**

$$E. COV's = Vat * FE = \frac{26.377.333 \text{ lt AT}}{\text{año}} * \frac{(1.3 * 10^{-5})Kg COV's}{\text{lt}} * \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$E. COV's = 0,0003 COV's ton/año$$

#### **8.6.3 Otras fuentes de emisión**

Las siguientes son emisiones clasificadas como fuentes varias, no son de la misma importancia que las anteriores, pues no tienen un aporte significativo de sustancias contaminantes al medio atmosférico, por su frecuencia de operación y funcionamiento.

##### Material particulado por fuentes varias

A continuación se presenta las emisiones de material particulado en su fase respirable (PM<sub>10</sub>) y gases de combustión (Monóxido de Carbono, Óxido de Nitrógeno, hidrocarburos y COV's) en consecuencia de las actividades de construcción y operación de las celdas de almacenamiento de los residuos sólidos.

El proyecto considera emisiones atmosféricas durante su etapa de operación normal, durante esta etapa se consideran emisiones principalmente producto de los trabajos asociados a la instalación y almacenamiento de residuos, movimiento de tierras, preparación y compactación del terreno, y demás emisiones generadas por el tránsito de maquinaria y camiones recolectores por caminos interiores sin pavimentar.

Para el cálculo de estas emisiones se ha considerado los factores de emisión definidos por la Agencia de Protección Ambiental E.E.U.U (EPA) y la guía para la estimación de emisiones (CONAMA, 2009).

Los criterios asociados y suposiciones consideradas para el cálculo y aplicación de los factores de emisión son:

- **La nivelación y Compactación de los RSU**, corresponde a las actividades de compactar el terreno previa disposición de los RSU sobre el mismo, el área a compactar corresponde al área total de almacenamiento; el área de cada celda es de 107 m<sup>2</sup> siendo 206 celdas a construir en el año 2010. Considerando que el bulldozer compacta el terreno a una velocidad de 3 m<sup>2</sup>/min, se estima que la labor de compactación se realizará en 122 horas (EMAS .S.A).

$$compactacion = \frac{107m^2 * 206 \text{ celdas}}{3 \text{ m}^2/\text{min}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 122 \text{ h}$$

- **Tránsito de camiones por caminos no pavimentados**, para las actividades de disposición de los residuos en el relleno sanitario, se cuenta con un tránsito de camiones de 70 vehículos/día, con una capacidad de 6 ton/veh, en promedio un tránsito de 420 ton/día, en una vía interna de 800 m. de longitud al vaso II.
- **Gases de combustión**, en esta sección se calculan las emisiones de material particulado de combustión de maquinarias y camiones involucrados en las

actividades de disposición final de los residuos. Para esto fue considerado el tiempo de operación de cada máquina; las horas totales cada máquina fueron calculadas en turnos de 8 horas al día, es decir 2.304 h/año de operación de los camiones recolectores.

La tabla 17 indica toda la información necesaria para aplicar los factores de emisión para las actividades de transporte, almacenamiento y compactación de los residuos sólidos en el relleno sanitario Antánas.

**Tabla 17: factores y fuentes de emisión**

<b>Fuente de Emisión</b>	<b>actividad</b>	<b>Factor de emisión</b>	<b>Variabes</b>	<b>Fuente de información</b>
Emisiones producto de las actividades de preparación del terreno.	Excavaciones y nivelación con bulldozer (Kg/h)	$FE = 0,45 * 0,75 * \frac{S^{1,5}}{M^{1,4}}$	s: % de finos del suelo M: % de humedad del suelo	Ap-42: Chapter 11, section 11.9 "Western surface coal mining", Table 11.9-4
	Compactación del terreno (Kg/h)	$FE = 0,45 * k * \frac{S^{1,5}}{M^{1,4}}$	k: factor de tamaño de la partícula (0,21) s: % de finos en el suelo (10) M: % de humedad del suelo (2,5)	Ap-42: Chapter 11, section 11.9 "Western surface coal mining", Table 11.9-4
	Levantamiento de polvo por el tránsito de camiones por caminos no pavimentados (g/Km)	$FE = 281,9 * 1,5 \left(\frac{sl}{12}\right)^{0,9} * \left(\frac{w}{2,7}\right)^{0,45}$	sl: carga de la superficie g/m <sup>2</sup> =10 w: peso promedio en toneladas.	Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios de CONAMA
<b>Fuente de Emisión</b>	<b>contaminante</b>	<b>Factor de emisión</b>	<b>Variabes</b>	<b>Fuente de información</b>
Emisiones producto de la combustión del tránsito de camiones	PM <sub>10</sub>	$FE = 1,913275 * V^{-0,7054}$	V: velocidad promedio	1. Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas CONAMA. 2. Factores de emisión, camiones pesados diesel tipo I 3. Ap-42: Vol II (mobile sources)- Appendix H "Heavy duty diesel trucks"
	SO <sub>2</sub>	$FE = 0,017$	-----	
	CO	$FE = 0,0064 * e^{(a+b*v+c*v^2)}$	V: velocidad pro. a = 1,396 b = -0,088 c = 0,00091	
	NO <sub>x</sub>	$FE = 0,0040 * e^{(a+b*v+c*v^2)}$	V: velocidad pro. a = 0,676 b = -0,048 c = 0,00071	
	HC	$FE = 0,0013 * e^{(a+b*v+c*v^2)}$	v: veloc. Promedio a = 0,924 b = -0,055 c = 0,00044	

La tabla 18 resume detalladamente los cálculos y unidades de las estimaciones de emisiones de cada una de las fuentes de emisión.

**Tabla 18: cálculo de los factores de emisión**

<b>fuelle de emisión/actividad</b>	<b>Factor de emisión</b>	<b>Variables</b>	<b>Factor de actividad</b>	<b>Emisión</b>
Excavaciones y nivelación con bulldozer (Kg/h)	$FE = 0,45 * 0,75 * \frac{S^{1,5}}{M^{1,4}}$	S=10 M= 2,5	122 horas de actividad	361 Kg/año
Compactación del terreno (Kg/h)	$FE = 0,45 * k * \frac{S^{1,5}}{M^{1,4}}$	K=0,21 S= 10 M=2,5	122 horas	100 Kg/año
Levantamiento de polvo por el tránsito de camiones por caminos no pavimentados (g/Km )	$FE = 281,9 * 1,5 \left(\frac{sl}{12}\right)^{0,9} * \left(\frac{w}{2,7}\right)^{0,45}$	Sl=0,18 (50-100 veh/día) W= 6 ton	0,8 Km 70 veh / día 25.550 veh /año	282.48 Kg/año
<b>contaminante</b>	<b>Factor de emisión</b>	<b>Factor de actividad</b>	<b>Variables</b>	<b>Fuente de información</b>
SO <sub>2</sub> (gr/Km)	$CC = 1,678 * V^{-0,4593}$ $FE = 2 * CC * S_{comb}$	V= 30 Km / h CC: Scomb:	0,8 Km de recorrido 70 veh /día 25.550 veh /año	143.833 Kg/año
CO (gr/Km)	$FE = 20,504 * V^{-0,6945}$	V= 30 Km / h	0,8 Km de recorrido 70 veh /día 25.550 veh /año	39.487 Kg/año
NO <sub>x</sub> (gr/Km)	$FE = 63,888 * V^{-0,5859}$	V= 30 Km / h	0,8 Km de recorrido 70 veh /día 25.550 veh /año	178.014 Kg/año
HC (gr/Km)	$FE = 20,06 * V^{-0,8774}$	V= 30 Km / h	0,8 Km de recorrido 70 veh /día 25.550 veh /año	20,74 Kg/año

NOTA: otras fuentes de emisión como las fuentes biogénicas no se consideran en este inventario por no ser parte de las emisiones provenientes de la operación normal de la disposición final de RSU en el relleno sanitario Antánas.

## 9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 9.1 EMISIONES PRODUCTO DE LAS CELDAS DE DISPOSICION FINAL.

Los resultados de la modelación de emisiones generadas por la operación y funcionamiento normal de rellenos sanitarios, son obtenidos por la aplicación del modelo de emisión LandGEM versión 3.02 de la *environmental agency protection* – EPA.

Con el modelo se estimó las emisiones de biogás del relleno sanitario Antánas, evaluado en tres escenarios; **1)** evaluación de parámetros a partir de datos teóricos recomendados por la EPA para rellenos en Suramérica para el modelo LandGEM v 3.02, **2)** evaluación de parámetros de modelación utilizando cálculos estequiométricos convencionales, haciendo ajustes por contenido orgánico degradable en los residuos, **3)** un escenario en base a estudios de biogás como antecedentes en Latinoamérica.

Se preparó cinco conjuntos de datos; donde en cada conjunto contiene la respectiva comparación entre los tres escenarios de evaluación establecidos con anterioridad, los conjuntos de datos representan básicamente las estimaciones arrojadas por el modelo como son: la estimación de generación de Metano y el potencial de generación del mismo, la estimación de emisión de la totalidad del biogás generada por la disposición final de residuos sólidos en el rellenos sanitario, la estimación de emisiones de los gases elegidos con anterioridad (en este caso CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y NMOC); estos resultados son complementados con gráficas donde se podrá realizar una mejor apreciación de cada escenario de evaluación y el correspondiente inventario de emisiones al año base de estudio, el año 2010.

A continuación, se presentan los cinco conjuntos de datos en tablas de comparación; además, los resultados son únicamente gráficas por comodidad de presentación, sin embargo en el ANEXO J se encuentran los resultados tabulados y gráficos en su totalidad:

- **Primer conjunto de datos**

El primer conjunto de resultados se evidencia en la tabla 29, esta corresponde a la alimentación del modelo; es decir, la información que requiere el modelo para su desarrollo; se muestra la alimentación de los tres escenarios de evaluación en paralelo para mayor comprensión.

**Tabla 19: alimentación del modelo**

<b>RELLENO SANITARIO ANTANAS DATOS TEORICOS EPA</b>		<b>RELLENO SANITARIO ANTANAS CALCULOS CONVENCIONALES</b>		<b>RELLENO SANITARIO ANTANAS ANTECEDENTES</b>	
<b>características del relleno</b>					
año de apertura	<b>2001</b>	año de apertura	<b>2001</b>	año de apertura	<b>2001</b>
año de cierre calculado	<b>2031</b>	año de cierre calculado	<b>2031</b>	año de cierre calculado	<b>2031</b>
capacidad de diseño	<b>3'558.165 ton</b>	capacidad de diseño	<b>3'558.165 ton</b>	capacidad de diseño	<b>3'558.165 ton</b>
<b>parámetros del modelo</b>					
tasa de generación de Metano, K	<b>0.08</b>	tasa de generación de Metano, K	<b>0.08</b>	tasa de generación de Metano, K	<b>0.054</b>
potencial de generación de Metano, Lo	<b>84</b>	potencial de generación de Metano, Lo	<b>56</b>	potencial de generación de Metano, Lo	<b>80</b>
NMOC concentración	<b>600</b>	NMOC concentración	<b>600</b>	NMOC concentración	<b>600</b>
contenido de Metano	<b>50%</b>	contenido de Metano	<b>44,7 %</b>	contenido de Metano	<b>44,7 %</b>
<b>gases a modelar</b>					
biogás total		biogás total		biogás total	
Metano		Metano		Metano	
dióxido de carbono		dióxido de carbono		dióxido de carbono	
sulfuro de hidrogeno		sulfuro de hidrogeno		sulfuro de hidrogeno	

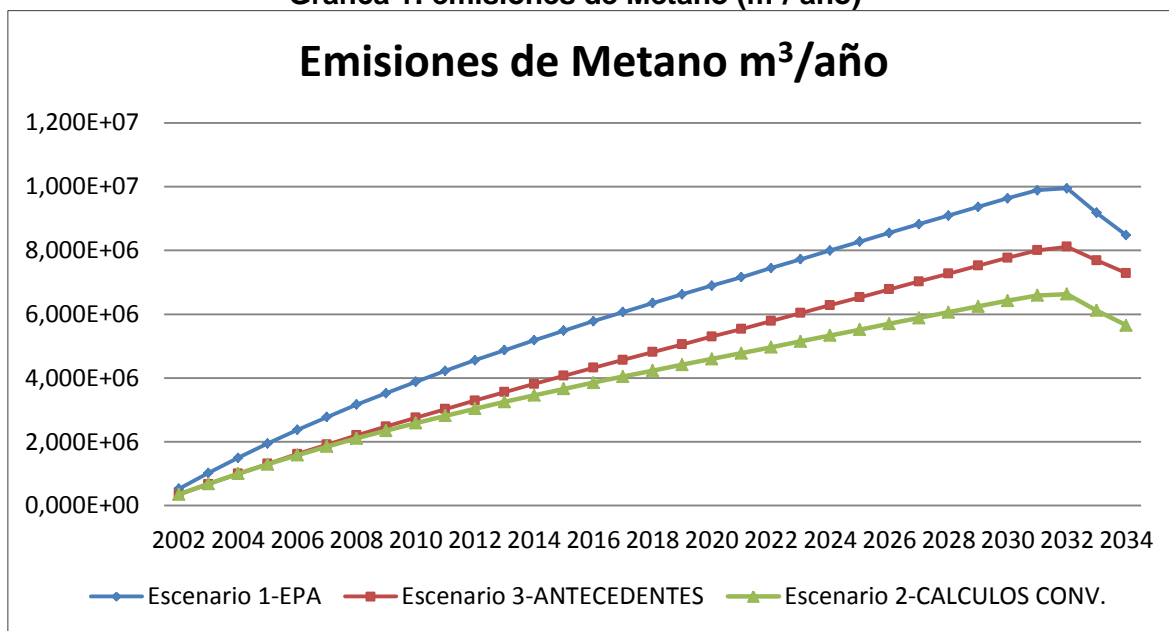
*Fuente: elaboración propia*

▪ **Segundo conjunto de datos**

La grafica 1 corresponde al segundo conjunto de resultados, son las emisiones de Metano en m<sup>3</sup>/año en cada escenario de evaluación; las proyecciones de estimación hasta el año base del inventario (2010) y las proyecciones hasta el año de clausura son compilados en el ANEXO J.



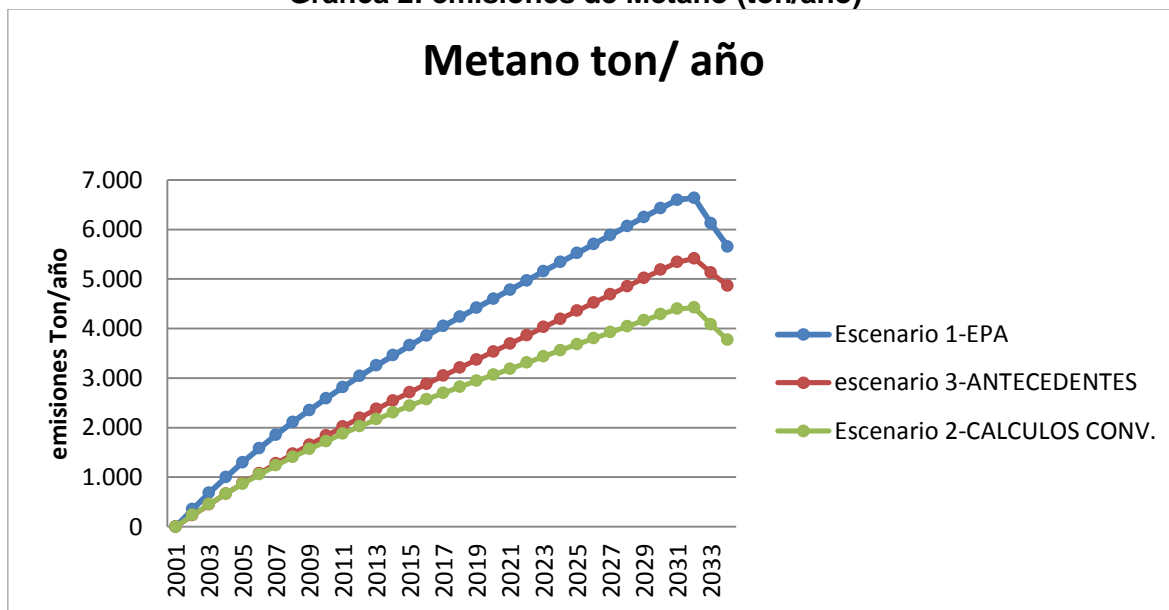
Grafica 1: emisiones de Metano (m<sup>3</sup>/ año)



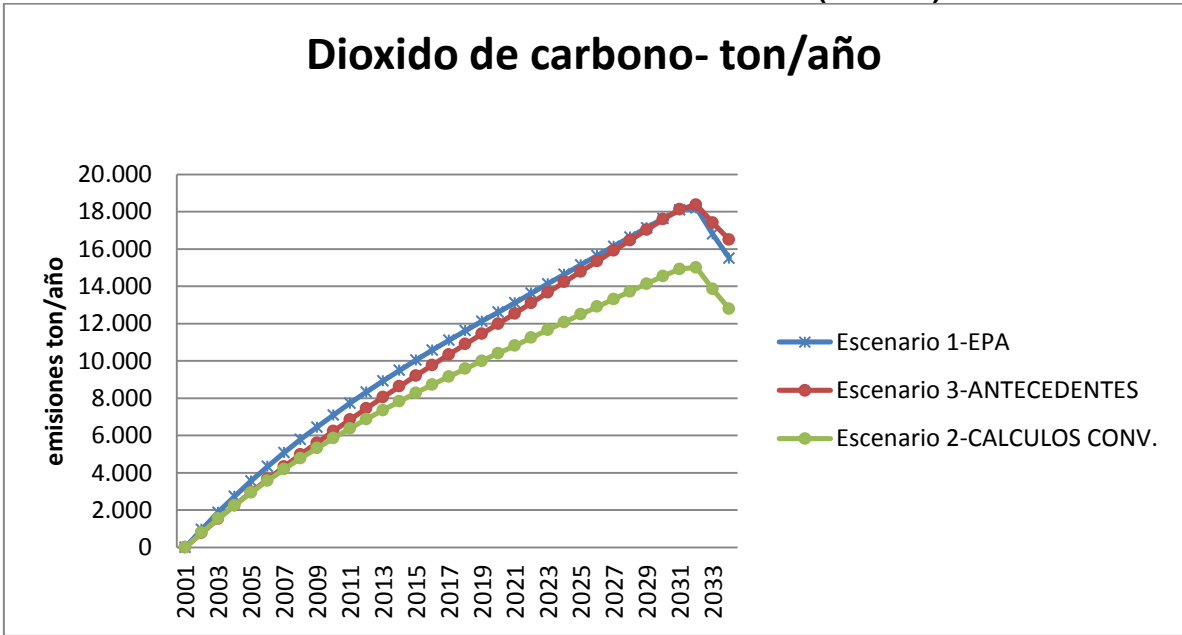
▪ **Tercer conjunto de resultados.**

En el tercer conjunto de resultados se evidencia en la gráfica 2, donde se obtienen las emisiones de contaminantes anteriormente seleccionados en una comparación grafica de los tres escenarios de evaluación.

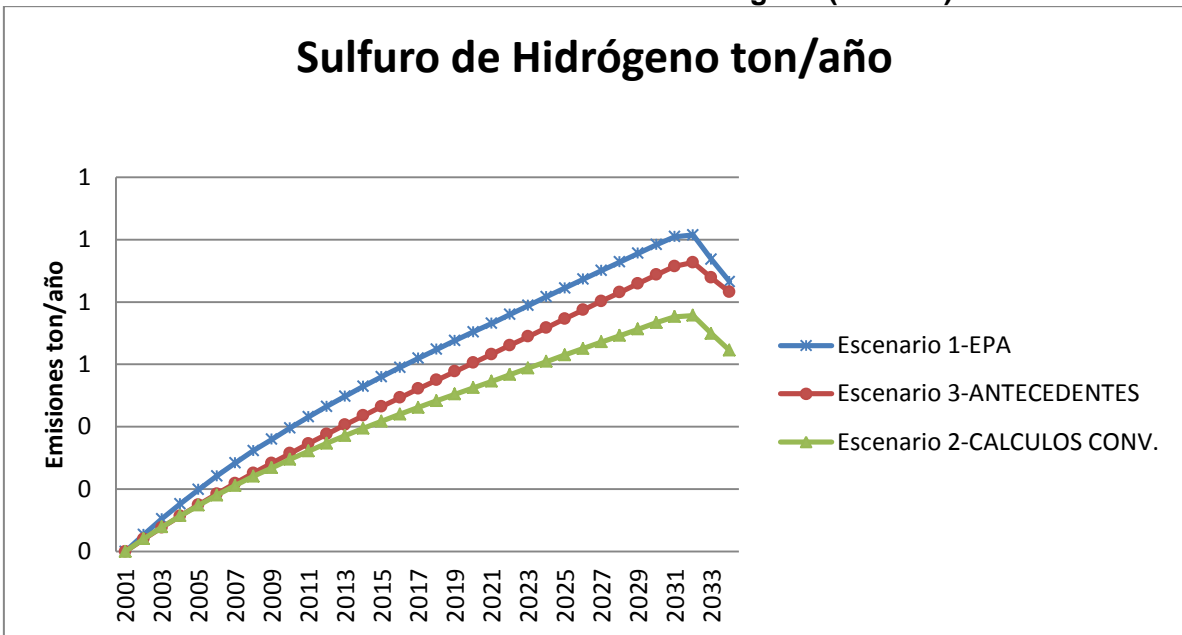
Grafica 2: emisiones de Metano (ton/año)



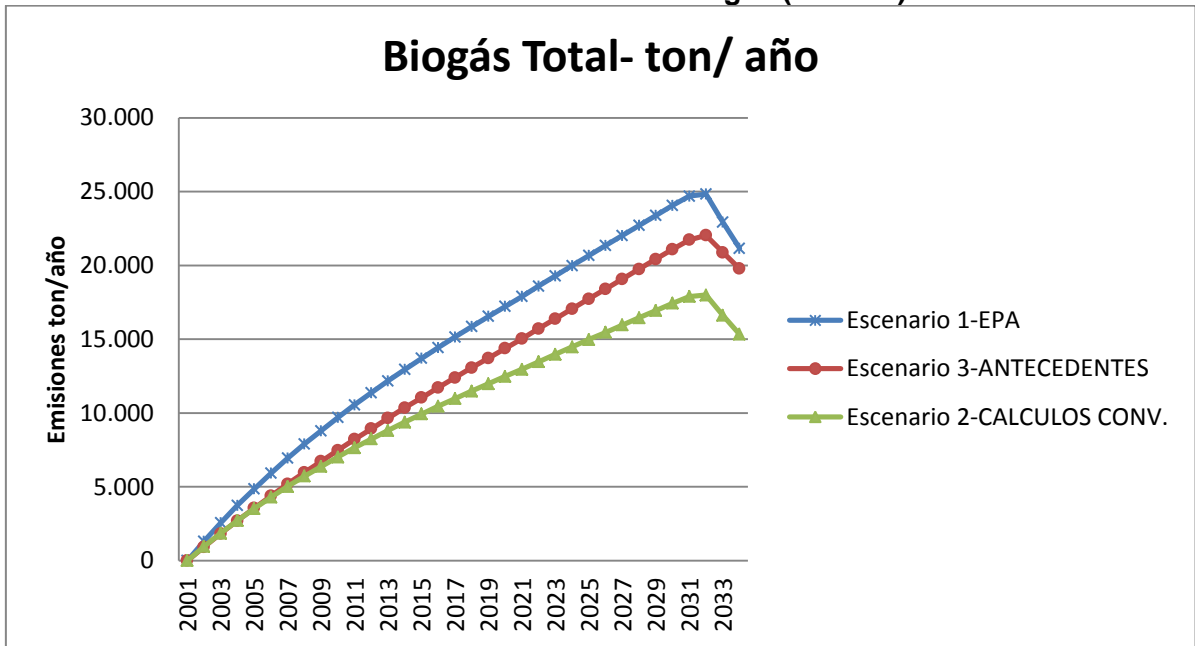
**Grafica 3: emisiones de dióxido de carbono (ton/año)**



**Grafica 4: emisiones de sulfuro de hidrogeno (ton/año)**

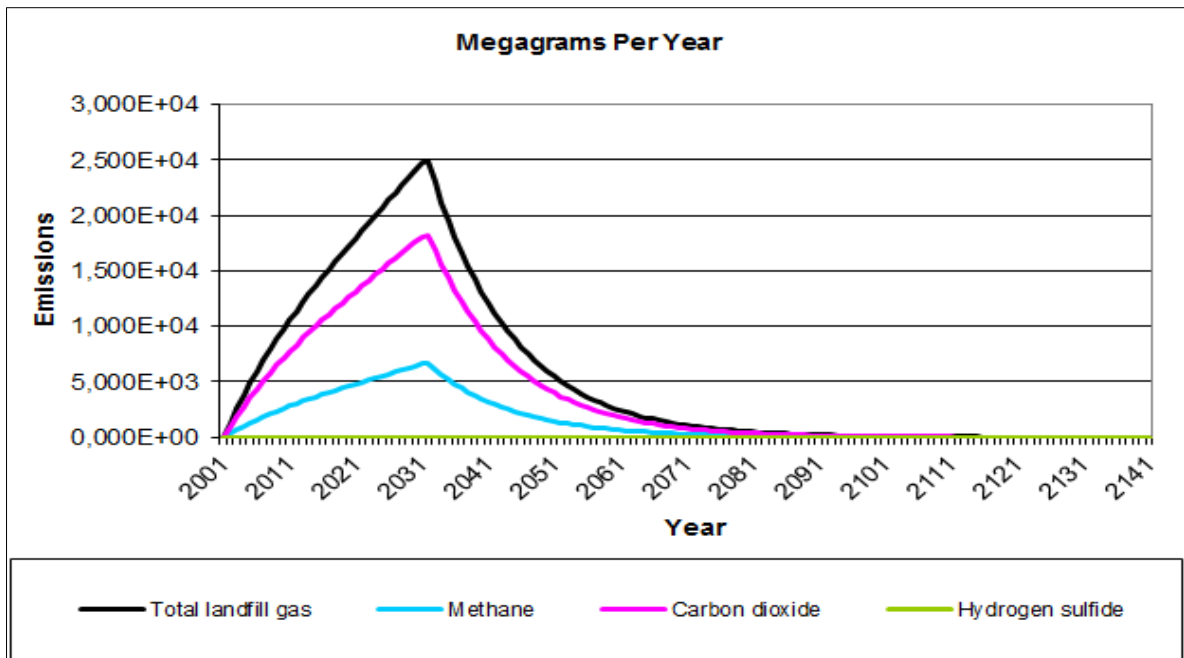


**Gráfica 5: emisiones totales de biogás (ton/año)**

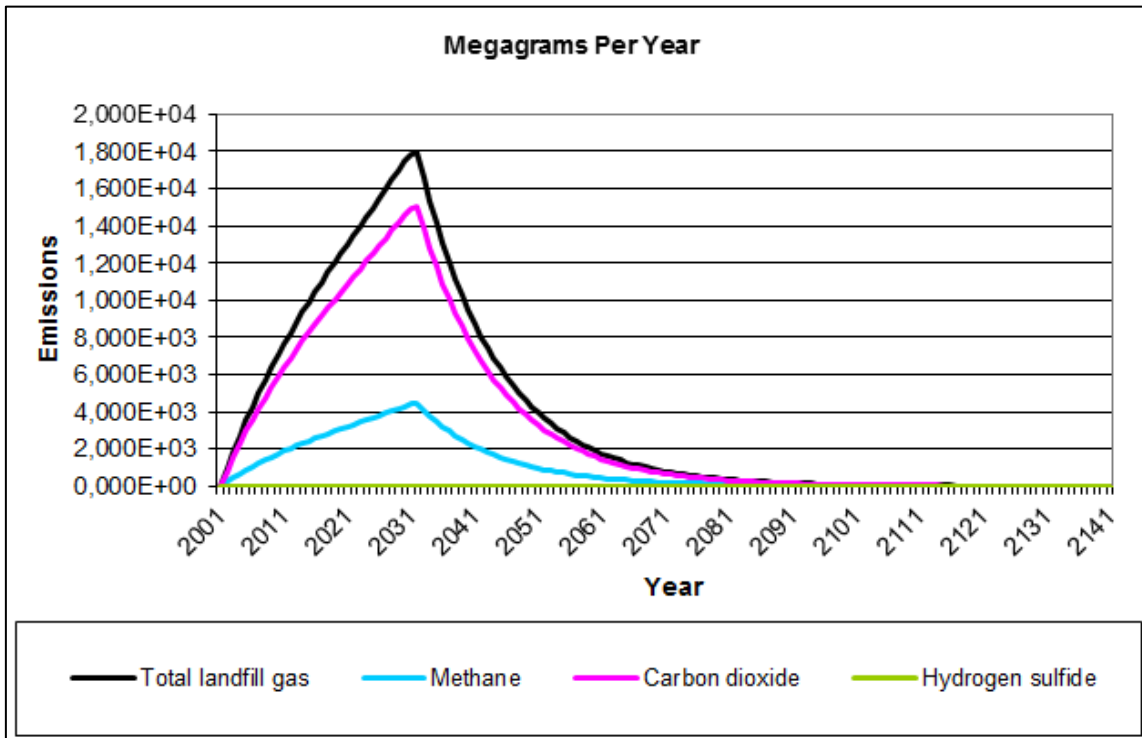


Adicional a las gráficas anteriores que son resultado de un análisis estadístico; las siguientes gráficas 6,7 y 8 son resultados arrojados por el modelo en una mejor representación del comportamiento de las emisiones del relleno sanitario Antánas, estas graficas se encuentran en ton / año.

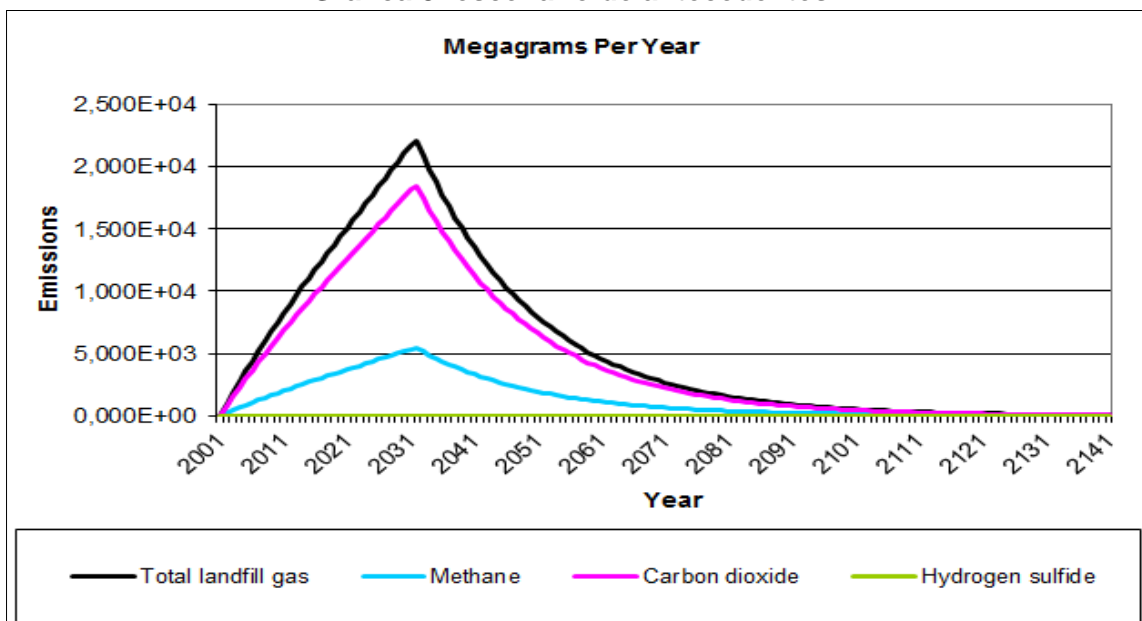
**Gráfica 6: escenario de datos teóricos EPA**



**Grafica 7: escenario de cálculos convencionales**



**Grafica 8: escenario de antecedentes**



▪ **Cuarto conjunto de resultados.**

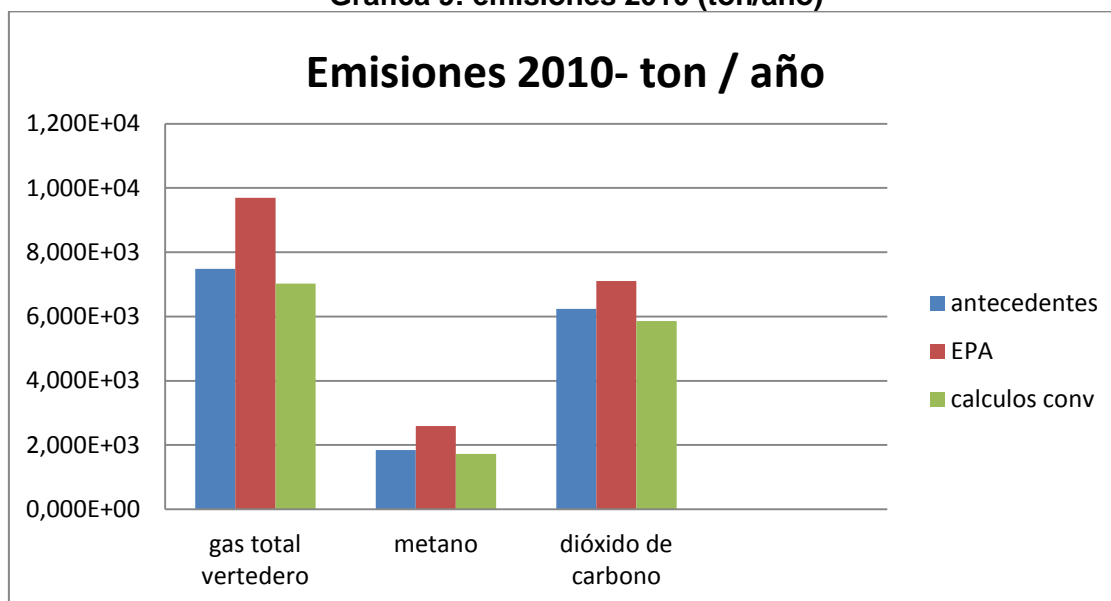
La tabla 20 representa el cuarto conjunto de resultados que corresponde al inventario de emisiones atmosféricas del contaminante criterio para los años base (2010) seleccionados anteriormente en los tres escenarios de evaluación; este a su vez representados en un diagrama de barras por las gráficas 9 y 10 en ton/año y en

porcentajes respectivamente y de la misma manera, en los tres escenarios de evaluación.

**Tabla 20: inventario de emisiones de sustancias contaminantes criterio.**

2010	ESCENARIO 1- DATOS TEORICOS EPA		ESCENARIO 2 CALCULOS CONVENCIONALES		ESCENARIO 3 ANTECEDENTES	
	ton/año	m <sup>3</sup> /año	ton/año	m <sup>3</sup> /año	ton/año	m <sup>3</sup> /año
<b>gas total vertedero</b>	9,694E+03	7,763E+06	7,024E+03	5,789E+06	7,481E+03	6,165E+06
<b>Metano</b>	2,589E+03	3,881E+06	1,726E+03	2,588E+06	1,838E+03	2,756E+06
<b>dióxido de carbono</b>	7,105E+03	3,881E+06	5,860E+03	3,201E+06	6,240E+03	3,409E+06
<b>Ácido sulfhídrico</b>	3,961E-01	2,795E+02	2,954E-01	2,084E+02	3,146E-01	2,219E+02

**Grafica 9: emisiones 2010 (ton/año)**



La tabla 21 corresponde únicamente a los resultados de las emisiones de los contaminantes seleccionados en el año base del inventario que es el año 2010; las sustancias contaminantes son las seleccionadas en la alimentación del modelo. Sin embargo, en el ANEXO J esta las emisiones de estos y demás trazas contaminantes.

**Tabla 21: inventario de emisiones relleno sanitario Antánas- año 2010**

Gas / Pollutant	Emission Rate				(short tons/year)
	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(av ft <sup>3</sup> /min)	(ft <sup>3</sup> /year)	
Total landfill gas	7,024E+03	5,789E+06	3,889E+02	2,044E+08	7,727E+03
Methane	1,726E+03	2,588E+06	1,739E+02	9,138E+07	1,899E+03
Carbon dioxide	5,860E+03	3,201E+06	2,151E+02	1,130E+08	6,446E+03
NMOC	1,245E+01	3,473E+03	2,334E-01	1,227E+05	1,369E+01
H <sub>2</sub> S	2,954E-01	2,084E+02	1,400E-02	7,359E+03	3,249E-01

## 9.2 EMISIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.

Para las estimaciones de emisiones generadas por la planta de tratamiento de lixiviados se estimaron mediante factores de emisión y a continuación los resultados obtenidos.

La tabla 22 muestra la información que se requirió para la aplicación de factores de emisión para el cálculo de las emisiones, está básicamente corresponde a los registros de caudales de agua tratada en el año 2010.

**Tabla 22: caudales de agua tratada anual (2010)**

CAUDAL DE SALIDA (EFLUENTE-VERTIDO) AÑO 2010		
	M <sup>3</sup> /DÍA	L/AÑO
MARZO	92,9	33.908.500
ABRIL	87,5	31.937.500
JUNIO	54,5	19.892.500
JULIO	67	24.455.000
AGOSTO	67,5	24.637.500
SEPTIEMBRE	69	25.185.000
OCTUBRE	72	26.280.000
NOVIEMBRE	73	26.645.000
DICIEMBRE	67	24.455.000
PROMEDIO	<b>72,26666667</b>	<b>26.377.333,33</b>

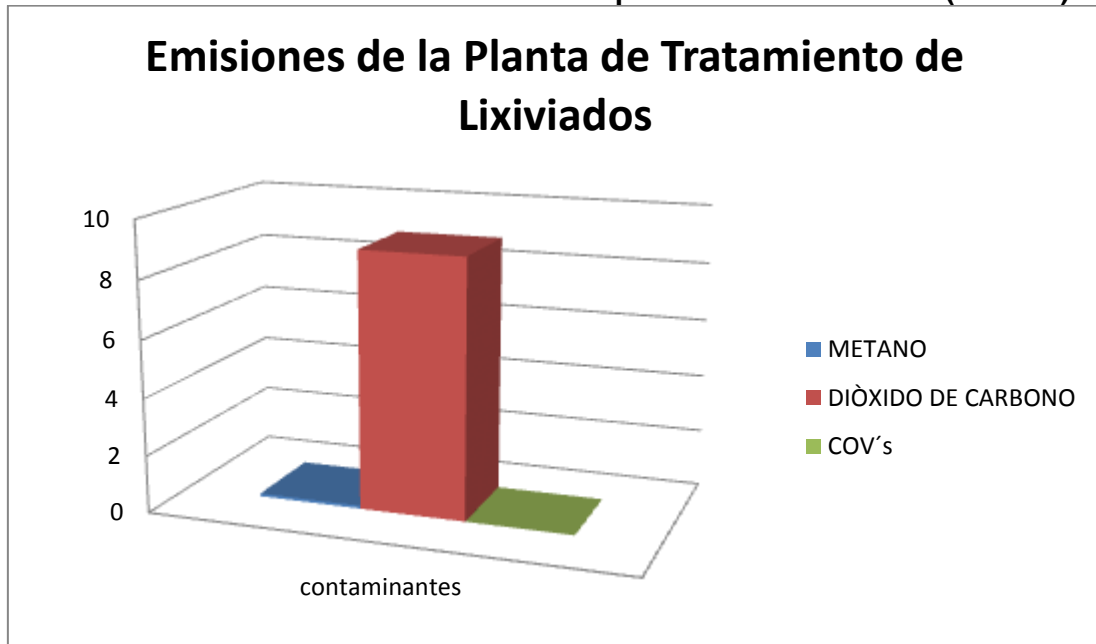
*Fuente: EMAS S.A E.S.P*

La tabla 23 asocia los contaminantes criterios seleccionados para la estimación, los valores de los factores de emisión aplicados y el resultado de cada emisión en ton/año; de igual forma la gráfica 11 representa la curva de emisión de estas sustancias contaminantes en el año de operación 2010.

**Tabla 23: resultados de las emisiones**

CONTAMINANTES	FACTOR EMISION	EMISION ton/año
	Kg/L	
METANO	0,00000371	0,098
DIÓXIDO DE CARBONO	0,0003391	8,945
COV	0,000000013	0,0003

**Grafica 10: emisiones contaminantes provenientes de la PTL (ton/año)**



Nota: a diferencia de las anteriores gráficas esta es en 3D para que sea notorio los valores de las emisiones.

### 9.3 OTRAS FUENTES DE EMISIÓN

De las fuentes de emisión producto de las actividades de transporte, almacenamiento y compactación de los residuos en la zona de disposición; se identificaron y calcularon en la sección anterior. La tabla 24 muestra los resultados correspondientes a las emisiones de material particulado y gases de combustión.

**Tabla 24: resultados de emisiones varias**

<b>Fuente de emisión</b>	<b>actividad</b>	<b>Emisión</b>	<b>Observación /conversión</b>
Actividades de preparación del terreno en la zona de disposición	Excavaciones y nivelación con bulldozer (Kg/h)	361 Kg PM <sub>10</sub> /año	La cantidad de material de excavación y compactación es proporcional a la cantidad de residuos a depositar.
	Compactación del terreno	100 Kg PM <sub>10</sub> /año	
	Levantamiento de polvo por el tránsito de camiones por caminos no pavimentados (g/Km -viaje)	282,48 KgPM <sub>10</sub> /año	Capacidad por vehículo 9 ton. 2.3 Kg PM <sub>10</sub> /ton RS
<b>Fuente de emisión</b>	<b>Sustancia contaminante</b>	<b>Emisión</b>	<b>Observación /conversión</b>
Emisiones de combustión del tránsito de camiones	SO <sub>2</sub>	143,8 Kg/año	Tránsito de 70 veh/día con un recorrido de 0,8 Km
	CO	39,48 Kg/año	Tránsito de 70 veh/día con un recorrido de 0,8 Km
	NO <sub>x</sub>	178,014 Kg/año	Tránsito de 70 veh/día con un recorrido de 0,8 Km
	HC	20,74 Kg/año	Tránsito de 70 veh/día con un recorrido de 0,8 Km



## 10. INVENTARIO DE EMISIONES 2010

En esta parte de la investigación, se evidencia de la manera más breve y detallada el inventario de emisiones de las fuentes más significativas en cuanto al aporte de sustancias contaminantes al medio atmosférico producto de la operación del relleno sanitario. En la tabla 35 se encuentran clasificadas las emisiones del relleno sanitario Antánas por contaminantes (seleccionados anteriormente), fuentes de emisión y las cantidades de cada una de ellas.

Es importante esclarecer, que esta tabla no representa a gran escala una base de datos, en esta únicamente se ha tomado en cuenta la selección de los contaminantes criterio. La base de datos efectiva es proporcionada por el modelo aplicado a la estimación de emisiones LandGEM, esta incluye no solo contaminantes criterio sino también las trazas de otros contaminantes y COV's, caracterizando cada uno de estos por concentración y contenido en el biogás, y demás propiedades químicas año por año; esta se encuentra en su totalidad en el ANEXO I.

**Tabla 25: estimación de emisiones totales**

CONTAMINANTES	FUENTES DE EMISIÓN			EMISIONES TOTALES
	Biodegradación de RSU	Tratamiento de lixiviados PTL	Fuentes varias	
CH <sub>4</sub>	1726 ton/año	0,01 ton/año	X	1726,01 Ton/año
CO <sub>2</sub>	5860 ton/año	9 ton/año	X	5869 Ton/año
NMOC	12,45 ton/año	X	X	12,45 ton/año
H <sub>2</sub> S	0,29 ton/año	X	X	0,29 ton/año
COV's	X	0,0003 ton/año	X	0,0003 ton/año
PM <sub>10</sub>	X	X	Nivelación del suelo 361 Kg /año	743 Kg/año 0,74 ton/año
			Compactación 100 Kg/año	
			Caminos no pavimentados 282, 48 Kg /año	
Contaminantes de combustión	X	X	382.034 Kg /año	382,03 Kg /año 0,38 ton/año

*Fuente: elaboración propia*

## 11. DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Después de hacer la presentación de los resultados obtenidos, esta sección hace el respectivo análisis de los mismos, para una mejor comprensión se divide esta sección en el análisis de cada fuente de emisión.

### 11.1 EMISIONES DE FUENTES FIJAS DIFUSAS

#### Disposición de residuos sólidos bajo tierra y tratamiento de lixiviados

Se estimó la emisión total de biogás al medio atmosférico; junto a los valores de las emisiones de los contaminantes más importantes seleccionados para el caso de estudio como son; Metano, Dióxido de carbono y Sulfuro de Hidrógeno. Resultados que se pueden asociar y comparar para una estimación aproximada del impacto generado al medio atmosférico y al mismo tiempo cuantificar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

La evaluación de cada uno de los escenarios, amplió sobre manera el panorama en cuanto al comportamiento de las emisiones al medio atmosférico, de tal forma que resulto muy dinámica la comparación y el análisis de cada escenario a la emisión real de biogás; ya que afortunadamente el relleno sanitario cuenta con un sistema de control de contaminación atmosférica que es la planta de desgasificación como proyecto MDL en el departamento de Nariño; contando con valores reales de emisión de biogás, este fue un punto de partida importante en la toma de decisiones. A continuación analizamos cada uno de los escenarios evaluados antes de llegar a una conclusión.

En el primer conjunto de resultados tenemos en paralelo la alimentación al modelo de cada uno de los escenarios, los parámetros de evaluación del modelo son los que realmente cambian de acuerdo al método de aproximación utilizado, los contaminantes a modelar son exactamente los mismos al igual que las características del relleno sanitario. De ante mano, se puede apreciar que los tres escenarios coinciden en el cálculo del año de cierre del relleno sanitario en cuestión estimado para al año **2031**.

En el segundo y tercer conjunto de resultados, indican las emisiones totales de biogás y de cada contaminante modelado. Gráficamente las emisiones de biogás en general tienen el mismos comportamiento para los tres contaminantes elegidos anteriormente, siendo el escenario N°1-EPA con los niveles de emisión más altos con un valor de 9.694 ton/año de biogás, le sigue el escenario N°3- ANTECEDENTES con valor de 7.481 ton/año de biogás y finalmente el escenario N° 2- CALCULOS con una emisión de 7.024 ton/año de biogás.

Los resultados arrojados por el escenario N°1-EPA (**9.694 ton/año de biogás, 2.589 ton/año de Metano, 7.105 ton/año de Dióxido de Carbono y 0,396 ton/año de Sulfuro de Hidrógeno**), no son valores confiables, dado que estos parámetros se definen tras un solo factor básico, que es la precipitación media anual de la zona; parámetro que no ha sido actualizado y además generaliza su valor de manera arbitraria para toda Suramérica, por ello se considera que los resultados arrojados por este escenario no son recomendables para definir los parámetros de evaluación en el caso de estudio de la presente investigación.

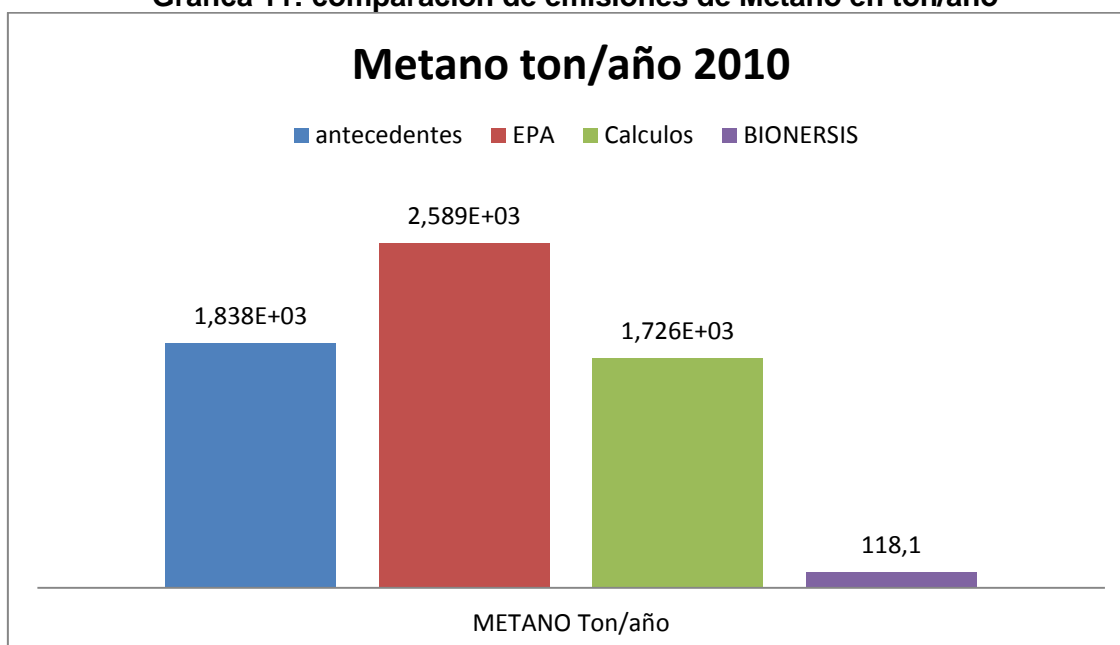
Los resultados del escenario N°2- Cálculos Convencionales (**7.024 ton/año de biogás total, 1.726 ton/año de Metano, 5.860 ton/año de Dióxido de Carbono y 0,29 ton/año de Sulfuro de Hidrógeno**), son los valores más acertados a las emisiones

reales; aunque no son aproximados cuantitativamente, de los tres escenarios evaluados este es el más convincente.

Finalmente, los resultados obtenidos en el escenario N°3-**ANTECEDENTES (7.481 ton/año de biogás, 1.838 ton/año de Metano, 6.240 ton/año de Dióxido de Carbono y 0,3146 ton/año de Sulfuro de Hidrógeno)**, este es el segundo escenario de evaluación más confiable después de los cálculos convencionales; la diferencia entre los dos no es mayormente significativa. Por los aspectos en común del relleno sanitario el Carrasco y Antánas (nivel de precipitación, caracterización de los RSU, cantidad de disposición anual). Por esto, los dos escenarios servirían para determinar las emisiones del relleno sanitario Antánas como aproximación.

Ahora bien, teniendo en cuenta los resultados de los escenarios evaluados, y realizando una comparación con las emisiones reales (datos proporcionados por BIONERSIS S.A), se construye otro punto de análisis y la conclusión de seleccionar el escenario N°2 como el más adecuado. En la siguiente grafica se puede apreciar la diferencia de cada escenario y la emisión de valores reales por parte de BIONERSIS.

**Grafica 11: comparación de emisiones de Metano en ton/año**



Con una gran diferencia entre los escenarios de evaluación y las emisiones reportadas por BIONERSIS, y para justificar estos resultados se recurre al análisis de distribución y localización de la red de desgasificación. Se logra identificar que con un promedio de 10 m de radio de influencia y 40 m de distancia entre los pozos de extracción; la distribución, localización y radio de influencia de cada uno de los pozos no es homogénea. La razón, es que el proceso de extracción por parte de BIONERSIS obedece a un diseño ya establecido por parte de EMAS S.A E.S.P en el vaso I (donde está la mayor cobertura), por esta razón el área de cobertura de la red no es la mejor y por ende la captura de biogás no es óptima, estas zonas que no son intervenidas son las que podrían representar la ausencia o pérdida de biogás en los registros de eficiencia de captura por parte de BIONERSIS, por ello los resultados de estimación de emisiones define una eficiencia de captura del 50 % aproximadamente.

Importante agregar a este análisis; se tuvo la oportunidad de tener un acercamiento personal con uno de los autores intelectuales del Modelo Colombiano de Biogás; el profesional José Dávila, ingeniero asociado a SCS ENGINEERS de los EE. UU. Esta firma reconocida a nivel mundial en convenio con la EPA desarrolló a partir de LandGEM el Modelo de estimación de emisiones de rellenos sanitarios aplicado a las condiciones de Colombia, el “Modelo Colombiano de Biogás”. De esta entrevista, complemento a este análisis lo siguiente: “por la aproximación de los resultados entre los dos modelos LandGEM y el Modelo Colombiano de biogás para el caso del relleno sanitario Antánas, es evidente que la eficiencia de captura de biogás no sea la óptima; debido a que este responde a un diseño de la ubicación de las redes de biogás ya establecido por EMAS S.A E.S.P en el vaso I, en la operación por parte de BIONERSIS la entidad ingresó a modificar tal diseño; José Luis Dávila afirma que esta modificación en los pozos, por la misma perforación pone en riesgo y/o altera la eficiencia de captura de los mismos pozos de extracción por la misma intervención a las estructuras y afectación al nivel de verticalidad de cada pozo perforado. Esta es la razón principal por la cual las estimaciones de biogás por parte de los modelos de simulación son mayores a los registros de BIONERSIS. Los resultados muestran una eficiencia de captura de biogás esta entre el 50% y el 60 %. Resultado que de alguna forma es preocupante porque se pierde casi la mitad de biogás por emisiones fugitivas que de cierta forma corresponden a un grado de contaminación. Por parte de la empresa, se espera que en años futuros se obedezca a un diseño donde contemple la óptima recuperación y tratamiento del biogás.

#### ***Emisiones provenientes de la planta de tratamiento de lixiviados***

La segunda fuente de emisión de contaminantes al medio atmosférico es la planta de tratamiento de lixiviados; para esta fuente de emisión se pretendía en un principio estimar las emisiones a partir de la modelación, haciendo uso de un software avanzado en la estimación de emisiones llamado **WATER 9**, un programa desarrollado por la EPA para estimar emisiones de contaminantes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y residuales industriales; dado la escasez de información no se logró hacer la respectiva modelación, pues no se contaba con toda la información que solicitaba en la alimentación del modelo y por ende se tuvo que descartar este método de estimación y se optó estimar las emisiones con el uso de factores de emisión.

El uso de factores de emisión no es recomendable cuando estos valores no son propios del establecimiento o la unidad de tratamiento, por eso se tomaron como datos los factores de emisión recomendados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que a su vez recomendados por la EPA.

La planta de tratamiento de lixiviados no se considera de caso extremo para ser catalogada como fuente importante de emisión de contaminantes al medio atmosférico, porque la corriente de lixiviados no recibe ningún otro vertimiento de aguas residuales industriales o domesticas; por ello los resultados obtenidos son relativamente concentraciones muy bajas contaminantes 0,01 ton/año de Metano, 8,945 ton/año de Dióxido de Carbono y 0,003 ton/año de COV's. Teóricamente, las plantas de tratamiento no se consideran fuentes problemáticas de emisión salvo que considere condiciones específicas de otros vertimientos industriales que son los casos mencionados en el marco teórico.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> en la planta de tratamiento de lixiviados es de 8,9 ton /año, pero es importante mencionar que las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de las aguas residuales no se consideran en los inventarios de emisiones; las Directrices del IPCC establecen que las emisiones de CO<sub>2</sub> son de origen biogénico y no deben incluirse en el total de las emisiones, por esta razón no se incluye en el inventario pero se cree importante esta aclaración.

Tanto las aguas residuales como los lodos que contienen pueden producir CH<sub>4</sub> por degradación anaeróbica. La cantidad de CH<sub>4</sub> producido depende principalmente de la cantidad de materia orgánica degradable contenido en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento. El índice de producción de CH<sub>4</sub> aumenta con la temperatura. Esto es particularmente importante en los sistemas no controlados y en los climas cálidos. Por debajo de 15°C, la producción significativa de CH<sub>4</sub> es improbable, porque los metanógenos no están activos y la laguna servirá principalmente como tanque de sedimentación. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa los 15°C, es probable que la producción de CH<sub>4</sub> se reinicie (IPCC, 2006).

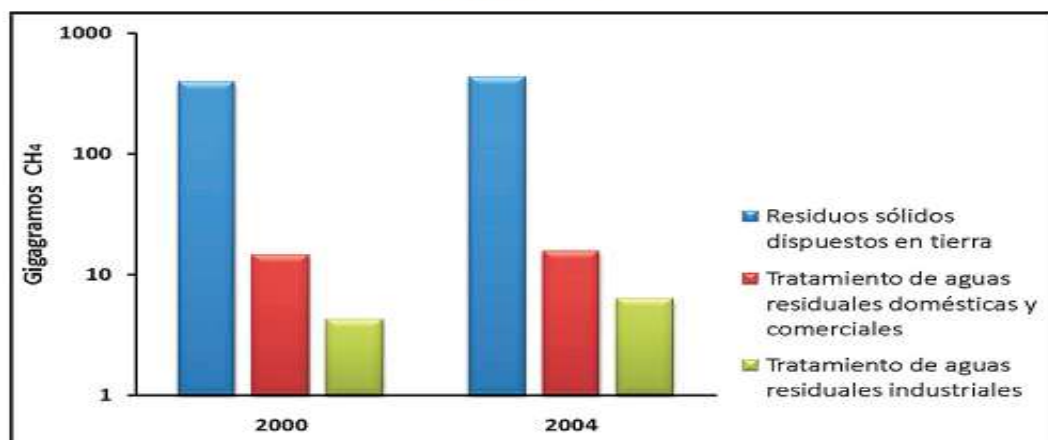
De ahí los resultados de las emisiones de CH<sub>4</sub> de 0,1 ton /año ya que la zona del relleno sanitario Antánas no supera los 12 °C de temperatura; actualmente solo se tiene una unidad de tratamiento anaerobio, que opera bajo temperaturas ambiente no mayores a 12 °C, teóricamente la emisión de Metano a esta temperatura es improbable. La mayoría de las unidades tienen sistemas en entornos aeróbicos los cuales producen poco o nada de Metano.

La grafica 13, es una comparación de emisiones de Metano en Colombia para los años 2000 y 2004 en el sector de residuos, es una gráfica tomada del “Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto invernadero, 2004” del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La grafica evidencia que el mayor aporte de emisiones de Metano en el sector de residuos corresponde a la disposición final de residuos sólidos en tierra, seguida el tratamiento de aguas residuales domésticas y finalmente el tratamiento de las aguas residuales industriales. Es consecuente con la afirmación desde un inicio, los rellenos sanitarios son una fuente de emisión de contaminantes que se debe tener muy en cuenta en los programas nacionales de calidad de aire.

**Grafica 12: emisiones de Metano en Colombia para los años 2000 y 2004**

Emisiones de CH<sub>4</sub> por categoría de fuente para los años 2000 y 2004



Fuente: MAVDT, 2004

La evaluación de las emisiones en plantas de tratamiento de aguas residuales es una fuente importante de evaluar, pero aun así, la cantidad de emisiones no son lo suficientemente grandes como para ser reguladas como una fuente de COV's. Es posible que la emisión de un compuesto específico exceda su Nivel de impacto en el ambiente de origen fuera de la planta, solo en este caso es posible encontrar emisiones significativas de sustancias contaminantes y estos casos precisamente es cuando la planta recibe vertimientos de industrias y demás fábricas. En este caso las emisiones de COV's son más bajas que las emisiones de Metano con un valor de 0.0003 ton /año, las emisiones no son lo suficientemente significativas como para hacer evaluaciones más detalladas en la PTL.

### 11.2 EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

Las emisiones de material particulado en su fase respirable (PM<sub>10</sub>), son emisiones producidas por las actividades de transporte, disposición y compactación de los residuos sólidos, estas actividades en la fase de construcción de las celdas de almacenamiento representan una importante fuente de emisión de material particulado, en la presente investigación se hizo uso de factores de emisión para su estimación, estos recomendados por la EPA son factores que requieren un dato de actividad del proceso para su cálculo.

Con emisiones de 743,48 Kg PM<sub>10</sub>/año provenientes de la construcción de las celdas de almacenamiento y compactación de los residuos, con un promedio de tránsito de 70 vehículos recolectores /día y con un recorrido de 0.8 Km las emisiones de gases de combustión por parte del parque automotor (camiones recolectores) son de 382 Kg/año en total. Estas son emisiones que no se consideran problemáticas en el sentido que puedan afectar en algún momento el bienestar de las comunidades aledañas y causar daños irreversibles en el medio ambiente (MAVDT, 2008).

Estudios de este tipo de emisiones, como en el relleno sanitario El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga, establece que este tipo de emisiones no son problemáticas debido a las actividades generadoras de estas emisiones, pues no son actividades de gran dimensión, además, la ubicación de los rellenos sanitarios junto a una espesa

arborización posibilita junto con su dispersión al choque y atascamiento de las partículas entre la vegetación. Así, estas no consideran una problemática ambiental de gran envergadura donde el proyecto haga necesario actividades de mitigación y control de estas. Sin embargo, si se quiere reducir o minimizar estas se podría optar por técnicas de mejoramiento en las actividades de operación, riego de agua en épocas de verano y limpieza de las vías de ingreso a la zona de disposición.

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las emisiones provenientes del normal manejo, funcionamiento y operación del relleno sanitario Antánas que fueron estimadas, se puede inferir en:

El modelo LandGEM versión 3.02 de la EPA, evaluado para el relleno sanitario Antánas, reporta las siguientes estimaciones de emisiones al medio atmosférico para el año base del inventario, el año 2010:

***Biogás Total = 7.024 ton/año***

***Metano = 1.726 ton/año***

***Dióxido de Carbono = 5.860 ton/año***

***Sulfuro de Hidrógeno = 0,295 ton/año***

Se tuvo la intención de aplicar también el Modelo Colombiano de biogás, pero esto no fue posible dado que no se contaba con la información adecuada y de calidad para su modelación; pero, este modelo siendo una derivación del modelo LandGEM solo que desarrollado particularmente a las condiciones climáticas de Colombia, tiene la misma eficiencia de estimación que el modelo LandGEM.

El modelo Colombiano de Biogás, además de la alimentación del LandGEM se debe responder a 33 preguntas de carácter técnico, respuestas que a mi punto de vista se adquieren con una vasta experiencia en el tema, razón por la cual no vi necesario aplicar este modelo; aun así, a continuación se hace una comparación de los resultados con cada modelo de estimación.

Las emisiones de biogás total para el año 2010 usando el Modelo Colombiano de Biogás fueron de 723 m<sup>3</sup>/h de biogás total y 478 m<sup>3</sup>/h de Metano al 50 % de contenido teórico en el biogás (Methane to Markets-SCS ENGINEERS, 2010).

Las emisiones de biogás total para el año 2010 usando LandGEM son de 660,8 m<sup>3</sup>/h de biogás total y 296 m<sup>3</sup>/h de Metano con un contenido real del 44,7 % de Metano. Esto muestra la aproximación de la estimación de emisiones con LandGEM respecto al Modelo Colombiano de Biogás en las emisiones de rellenos sanitarios, con una diferencia de 62,2 m<sup>3</sup>/h de biogás total.

Por otra parte, la planta de tratamiento de lixiviados (PTL) que constituye un aporte a las emisiones totales de la operación normal del relleno sanitario, contando con un aporte de Metano de 0.098≈0.1 ton/año y 0.003 ton/año de COV's que no se consideran significativos; y una emisión de 8.9 ton/año de Dióxido de Carbono que a pesar de registrar una emisión considerable estas no se toman en cuenta en el inventario de emisiones, por ser biogénico del ciclo del Carbono no se considera el Dióxido de carbono como gas de efecto invernadero.

En cuanto al impacto ambiental generado, BIONERSIS, del total de biogás capturado solo el 44,7 % de metano es quemado, es decir reduce el 44,7 % de emisiones de gases de efecto invernadero del gas capturado; esta reducción comparada con la totalidad de biogás generado en el relleno sanitario es de tan solo el 4,15 % de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Cuantitativamente el relleno sanitario Antánas genera una emisión total de biogás de 7.024 ton/año del cual 1.726 ton/año es Metano para el año 2010, es decir que hasta el momento el contenido de metano en el biogás es del 24,57 %. Entonces, el total de emisiones de Metano es de 1.654,3 ton/año que se emiten contando con la reducción



por parte de BIONERSIS; es decir, una eficiencia de reducción total de emisiones de gases de efecto invernadero del 4,15 %. Dato que matemáticamente es lógico, porque de 7.024 ton/año de biogás total, BIONERSIS solo captura 291 ton/año.

Finalmente, se puede concluir que de todas las fuentes de emisión identificadas, algunas de ellas no fueron significativas, así como otras no se tuvieron en cuenta dado que no son parte del proceso de disposición final. La fuente de emisión más importante es la degradación de la materia orgánica al interior de la tierra, clasificada como fuente fija puntual, seguidamente del proceso de tratamiento de lixiviados clasificada como fuente fija dispersa y las fuentes de emisión de material particulado en su fase respirable clasificada como fuentes móviles y varias.

### **Recomendaciones**

A nivel técnico, en el relleno sanitario Antánas se cuenta con buenas tecnologías de control de la contaminación a las fuentes de agua, la atmósfera y el suelo. Sin embargo, se recomienda implementar un sistema de información o base de datos que coincida con la cuantificación y cualificación de los procesos y/o actividades que generan aportes a la contaminación ambiental, específicamente al deterioro de la calidad del aire.

La formulación e implementación de un plan de gestión de calidad del aire, esta es la herramienta adecuada para garantizar un mejoramiento continuo de las tecnologías de control de la contaminación; un seguimiento y control de los procesos y/o actividades involucrados en la disposición final de los residuos sólidos y tener un pleno conocimiento del comportamiento de las emisiones atmosféricas de cada proceso.

Un estudio específico en las redes de captura de biogás, que integre la caracterización del biogás con la eficiencia de captura de cada uno de los pozos de extracción.

En las estimaciones por parte de la planta de tratamiento de lixiviados, se recomienda hacer un estudio real de aporte a la contaminación atmosférica, con el desarrollo de factores de emisión específicos para esta unidad de tratamiento; y así tener resultados más acordes en cuanto a su aporte de sustancias contaminantes, y con esto aportar a la base de datos del Ministerio de Medio Ambiente como factores de emisión para Colombia.

Colombia en general carece de información eficaz, por ello para futuros inventarios es importante seguir avanzando en los sistemas de información que consoliden los datos necesarios para el mismo, se debe hacer un esfuerzo continuo y una adecuada gestión de los datos y de la información obtenida hasta el momento, para lograr que ésta se encuentre disponible de manera oportuna y adecuada. Por tal razón, es necesario continuar con los procesos y estrategias de intercambio de información y el apoyo a estudios de investigación, con el fin de contar con una base de datos construida a partir de un conjunto de información confiable, que de manera permanente preparen las respectivas entidades para el desarrollo de los inventarios nacionales. Para ello es necesario integrar a las empresas de servicios públicos domiciliarios y los entes territoriales, con el fin de consolidar los datos en un sistema de información unificado.

En la actualidad Colombia cuenta con una herramienta informática para la estimación de emisiones adaptada a las condiciones propias del país. A pesar de que fue desarrollada U.S EPA como una derivación del modelo establecido LandGEM, esta es una versión de gran utilidad y dinámica que en esta investigación no se hizo uso del

programa por la ausencia de información; sin embargo, SCS ENGINEERS aplicó este modelo como la primera prueba realizada en Colombia, el cual se llevó a cabo en tres rellenos sanitarios del país: Doña Juana en Bogotá, La Pradera en Medellín y Antánas en Pasto. Con esta herramienta se recomienda hacer investigaciones enfocadas a los estudios de impacto ambiental más que a la viabilidad financiera y poder diseñar una base de datos con información eficaz y de fácil disponibilidad a todo el país. Sin dejar de lado el modelo LandGEM, se recomienda hacer uso de las dos herramientas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMBIOSIS. (2007). Estimacion de Emisiones Contaminantes Atmosféricas a partir de la Encuesta Nacional Industrial Anual para el Registro Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Santiago de Chile.
- BID - Banco Interamericano de Desarrollo. (2010). proyectos MDL en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- BIONERSIS S.A. (2005). Proyecto de Desgasificación Relleno Sanitario Antánas. San Juan de Pasto.
- Camacho, I. C. (Junio de 2006). Alternativas de Utilizacion de Biogas de Rellenos Sanitarios en Colombia . bogota: UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA (ESPAÑA).
- CONAMA. (2009). Inventario de Emisiones - Sector Residuos .
- CONAMA. (s.f.). Comision Nacional del Medio Ambiente. Obtenido de Guia Metodológica para la estimacion de emisiones:  
<http://retc.conama.cl/archivo/GUIA%20CONAMA.pdf>
- CORPONARIÑO . (2002). caracterizacion hidrológica del rio Pasto. San Juan de Pasto.
- EMAS S.A E.S.P - UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. (2003). informes de estudios y diseños del relleno sanitario Antánas. Medellín.
- EMAS S.A E.S.P E.S.P. (2005). Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos.
- EMAS S.A E.S.P E.S.P Pasto. (2006). proyecto Antánas. Sna juan de pasto.
- Emissions Inventory Improvement Program. (1997). Preferred and Alternative Methods for estimating Air Emissions from Wastewater Collection and Treatment.
- Environmental Agency Protection- EPA. (2006). Document for revisions to fine fraction ratios used for AP-42 fugitive dust emissions factors.
- Environmental Agency Protection-EPA. (1998). Unpaved Roads.
- Environmental Agency Ptotection- LandGEM. (2010). Emissions Model Landfill landGEM.
- environmental Protection Agency - EPA. (1994). Air Emissions Models for Waste and Wastewater.
- Environmental Protection Agency - EPA. (2009). Speciation Database Development Documentation.
- Environmental Protection Agency (EPA). (August 1997). AP 42 section 2.4- Municipal Solid Waste Landfill. Environmental Protection Agency (EPA).
- Environmental Protection Agency (EPA). (December 1992). Procedures for Emission Inventory. Environmental Protection Agency (EPA).
- Environmental Protection Agency (EPA). (December 2010). Greenhouse Gas Emissions Estimation, Methodologies for Biogenic Emissions. Environmental Protection Agency (EPA).
- Environmental Protection Agency (EPA). (July 1983). AP 42 section 13.5- Industrial Flares. Environmental Protection Agency (EPA).
- Environmental Protection Agency (EPA). (July 1993). AP 42 section 2.2- Sewage Sludge Incineration. Environmental Protection Agency (EPA).
- Environmental Protection Agency (EPA). (June 1979). Development of Questionnaires for Various Emission Inventory Uses. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (March 1991). Air Emissions from Municipal Solid Waste. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (March 2009). Speciate Database Development Documentation. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (November 1989). AP 42 section 4.3- Waste Water Collection, Treatment and Storage . Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (November 1994). AP 42 section 2.1- Refuse Combustion. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (November 1994). AP 42 section- Apéndices. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (November 2008). AP 42 section 13.2.2- Unpaved Roads. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (November 2008). Mobile Source Observation Database. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental Protection Agency (EPA). (October 2002). AP 42 section 13.2.1- Paved Roads. Environmental Protection Agency (EPA).

Environmental protection Agency. (2005). Landfill Gas Emissions Model- LandGEM v 3.02 . EPA.

Environmental Protection Agency- EPA. (2002). Air Toxics Emissions Estimation Methods Evaluation.

Environmental Science and Technology. (2007). Is Biodegradability a Desiderate Attribute for Discarded Solid Waste? 1-7.

Environmental Protection Agency- EPA. (2007). Pollutant Inventory Development: Guide Point and Area Sources.

EPA. (s.f.). Agencia de proteccion ambiental. Obtenido de Evaporation Loss Sources : <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch04/index.html>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/index.html>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de MISCELLANEOUS DATA AND CONVERSION FACTORS: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appa.pdf>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de Technology Transfer Network : <http://www.epa.gov/ttn/chief/efpac/index.html>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de Emission Factor and Emission Estimation Tools: <http://www.epa.gov/ttn/chief/efpac/esttools.html>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de General Information on CATC Products: <http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#software>

EPA. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental. Obtenido de WATER9, Version 3.0 - Beta: [http://www.epa.gov/ttn/chief/software/water/water9\\_3/index.html](http://www.epa.gov/ttn/chief/software/water/water9_3/index.html)

Fornieles. (2005). Cumbre Nacional del Medio Ambiente, en el Marco de Desarrollo Sostenible.

Fornieles, J. A. (2006). CONAMA. Congreso Nacional del Medio Ambiente. grupo HERA.

- Giraldo, E. (2007). Tratamiento de Lixiviados.
- GREENSPACE. (2004). impactos ambientales y sobre la salud de los rellenos sanitarios.
- IDEAM. (2008). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
- IDEAM- EMAS S.A E.S.P E.S.P. (2010). estacion de metereologia PAA.
- IDEAM. (s.f.). Instituto de hidroogía, Metereología y Estudios Ambientales. Obtenido de Cambio Climático: <http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/index.jsf>
- IDEAM- UNICEF-UNIVALLE. (2005). Marco Politico y Normativo Para La Gestion Integral de Residuos Solidos en Colombia.
- IPCC. (2005). Escenarios Futuros de Emisiones de Gases de Efecto invernadero. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climatico- IPCC.
- IPCC. (2006). Metodologia para la estimacion de Emisiones de gases de efecto invernadero. Panel Intergubernamanetal de Cambio Climatico.
- Leary, J. T. (s.f.). Agencia de Proteccion Ambiental - EPA. Obtenido de [http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/other3\\_s.html](http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/other3_s.html)
- Levis, J. W. (2007). Perspectives from a National Landfill Greenhouse Gas Inventory Model. Environmental Science and Technology.
- Londoño, C. A. (2006). Estimacion de la Emisión de Gases de Efecto Invernadero en el Municipio de Montería. Revista Ingenierías Universidad de MEdeillin.
- Ludwing, V. (2009). Modelo Colombiano de Biogás.
- Luna, M. d. (2008). Sistemas de Tratamientos para Lixiviados Generados en Rellenos Sanitarios. Universidad de Sucre.
- MAVDT. (2002). Guia de Rellenos Sanitarios.
- MAVDT. (2006). bases tecnicas de los inventarios de emisiones.
- MAVDT. (2008). Politica de Calidad de Aire.
- MAVDT. (2010). fundamentos y planeacion de inventarios de emisiones. colombia: K2 ingenieria.
- MAVDT. (2010). Fundamentos y Planificacion de Inventarios de Emisiones. Republica de Colombia.
- MAVDT. (2010). Politica de Prevencion y control de la Calidad del Aire.
- Mazo, E. (2009). Captura y Combustión de Biogás de los Rellenos Sanitarios Pradera y Curva de Rodas. Aprovechamiento de Biogás de Rellenos Sanitarios, (págs. 1 - 23). Armenia.
- Meneses, A. (2004). Identificación de Emisiones en el Sector de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales . Bistua, 1-11.
- Metz, B. (2005). La Captacion y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climatico- IPCC.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT. (2001). Plan Nacional de la Politica de Gestion de Residuos .
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial--. (s.f.).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT. (2005). Conpes 3344. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT. (2008). Conpes 3550. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. (2009). Inventario Nacional de Emisiones 2000-2004.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. (2010). Compendio de estimacion de emisiones. Bogotá, Colombia .
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT. (2010). Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MAVDT. (2009). Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero 2000-2004. Bogota D.C.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kioto de la Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- National Environmental Research Institute. (2005). emission of Metane and Nitrous Oxide from Wastewater Treatment Plants.
- Nolasco, D. A. (2010). Desarrollo de Proyectos MDL en PLantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Oficina Ctalana de Cambio Climatico. (2011). Guia Práctica para el Cálculo de las Emisiones de Gases de Efecto invernadero .
- oficina de informacion a la ciudadanía. (s.f.). ministerio de medio ambiente- Chile. Obtenido de <http://www.mma.gob.cl/1257/w3-propertyvalue-16007.html>
- Oficina de Planeación- Alcaldía Municipal San Juan de Pasto. (2010). indices de Crecimiento Poblacional.
- Parra, R. (2010). Estimacion de Factores de Emision de Gases de Efecto Invernadero de una PTAR. Revista Boliviano de Quimica, vol 27, 1-8.
- Patiño, W. V. (2008). estudio de viabilidad para e aprovechamiento de biogas producido en el sitio de disposicion final de Navarro, bajo las condiciones establecidas por el protocolo de Kioto. Cali: UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI.
- SCS ENGINEERS . (junio de 2005). Estudio de Pre-Factibilidad para la Recuperación de Biogas y Producción de Energía en el Relleno Sanitario COMBEIMA. Ibague, Colombia: BANCO MUNDIAL.
- SCS ENGINEERS. (2007). Relleno Sanitario Dola Juana. Bogota, Colombia.
- SCS ENGINEERS. (2007). solid Waste Industry for CLimate Solutions.
- SCS ENGINEERS. (2009). Modelo Colombiano de Biogas .
- SCS ENGINEERS. (2010). Modelo Colombiano de Biogás.
- SCS ENGINEERS. (s.f.). Environmental consultants and contractors. Obtenido de <http://www.scsengineers.com/>
- SCS ENGINEERS. (Junio de 2005). Estudio de Pre-Factibilidad para la Recuperación de Biogas y Producción de Energia en el Relleno Sanitario EL CARRASCO. Bucaramanga, Colombia: BANCO MUNDIAL.
- SCS ENGINEERS. (Junio de 2005). Estudio de Pre-Factibilidad para la Recuperación de Biogas y Producción de Energía en el Relleno Sanitario QUERETARO. Queretaro, Mexico: BANCO MUNDIAL.
- SIEN, U. E. (2004). Metodologia de inventarios de gases de efecto invernadero.
- SWANA Technical Division. (2005). What´s Next For LAndfills ?
- Tapia, C. (2007). Manual de Operaciones de Sistemas de Biogases.
- Tchobanoglous. (1997). Ingenieria de Rellenos Sanitarios.

- U.S Environmental Protection Agency- EPA. (2004). Improvement to the U.s Wastewater Methane and Nitrous Oxide Emissions Estimates.
- U.S Environmental Protection Agency-EPA. (1999). Técnicas para Cálculo de Emisiones de Fuentes Unicas. México.
- Universidad Nacional de Colombia. (2004). seminario: Energías Alternativas en Colombia.
- Velasquez C, R. A. (2005). Diseño de una Red de Captación y Equipo de Quemado de Biogas y Produccion de Energía en el Relleno Sanitario COIPUE. Temuco: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO.
- VELEZ, C. Y. (2009). Emisiones de Biogás Producidas en Rellenos Sanitarios. II simposio Iberoamericano de Ing. de Residuos, (pág. 24). Barranquilla.
- Wilfrido, P. (2008). estudio de biogas para el aprovechamiento de biogas producido por el relleno sanitario Navarro.

**ANEXOS**  
**ANEXO A: Normatividad Colombiana**

<b>LEYES DECRETOS RESOLUCIONES</b>	<b>REFERENCIA</b>
<b>DECRETO 948 DE 1995</b>	Este Decreto contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, donde se consagraron las normas y principios generales para la protección atmosférica, como los mecanismos de prevención y control, competencias para la fijación de normas y los instrumentos y medios de control y vigilancia.
<b>DECRETO 2107 DE NOVIEMBRE 30 DE 1995</b>	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
<b>DECRETO 1228 DE MAYO 6 DE 1997</b>	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
<b>DECRETO 1697 DE JUNIO 27 DE 1997</b>	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995, que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire. Este Decreto contiene modificación respecto a los aceites lubricantes de desecho, ya que estaba prohibido su uso.
<b>DECRETO 1552 DE AGOSTO 15 DE 2000</b>	Por el cual se modifica el artículo 38 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 3o. del Decreto 2107 de 1995 sobre tubos de escape.
<b>DECRETO 2622 DE DICIEMBRE 18 DE 2000</b>	Por medio del cual se modifica el artículo 40 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 2o. del Decreto 1697 de 1997, en cuanto a calidad de combustibles.
<b>DECRETO 979 DE 2006</b>	Reglamentó la clasificación de Áreas-Fuente de Contaminación para que las corporaciones y autoridades ambientales implementen, en caso de requerirlo, planes de reducción de la contaminación y planes de contingencia en las áreas contaminadas, con la ayuda de autoridades de tránsito, de salud y de planeación, entre otras.
<b>RESOLUCION 898 DE AGOSTO 23 DE 1995</b>	Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores, adicionada por la Resolución No. 125 de 1996, modificada por la Resolución No. 623 de 1998 y por la Resolución No. 0068 de enero 18 de 2001
<b>RESOLUCION 1351 DE NOVIEMBRE 14 DE 1995</b>	Por medio de la cual se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones.
<b>RESOLUCION 1619 DE DICIEMBRE 21 DE 1995</b>	En esta Resolución se establece que las Cementeras, Siderúrgicas, Refinerías y Termoeléctricas, deberán presentar el informe de Estado de Emisiones.
<b>RESOLUCION 125 DE FEBRERO 7 DE 1996</b>	Por la cual se adiciona la Resolución 898 de agosto de 1995 en la que se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores



<b>RESOLUCION 236 DE MARZO DE 1999</b>	Por medio de la cual se fijan las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica para los importadores que no adquieren los vehículos directamente de la casa matriz o la firma propietaria del diseño
<b>RESOLUCION 237 DE MARZO DE 1999</b>	Por medio de la cual se fijan las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica para los importadores que adquieren los vehículos o el material de ensamble de los mismos, directamente de la casa matriz o la firma propietaria del diseño.
<b>RESOLUCION 441 DE MAYO 30 DE 1997</b>	Por medio de la cual se revoca el artículo 2o. de la Resolución No. 1619 de 1995. Por consiguiente para fuentes fijas sigue vigente lo consagrado en el artículo 137 del Decreto 948 de 1995 que hace referencia a determinados artículos del Decreto 02 de 1982 mientras el Ministerio expide las normas al respecto.
<b>RESOLUCION 528 DE JUNIO 16 DE 1997</b>	Por medio de la cual se prohíbe la producción de refrigeradores, congeladores y combinación de refrigerador- congelador, de uso doméstico, que contengan o requieran para su producción u operación Clorofluorocarbonos (CFCs), y se fijan requisitos para la importación de los mismos.
<b>RESOLUCION 619 DE JULIO 7 DE 1997</b>	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica <b>para fuentes fijas.</b>
<b>RESOLUCION 1048 DE 1999</b>	Por la cual se fijan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, en condiciones de prueba dinámica, a partir del año modelo 2001.
<b>RESOLUCION 0068 DE ENERO 18 DE 2001</b>	Por la cual se modifica parcialmente la resolución No. 898 de 1995, adicionada por la resolución No. 125 de 1996 y modificada por la resolución No, 623 de 1998, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.
<b>RESOLUCION 0058 DE ENERO 21 DE 2002</b>	Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.
<b>RESOLUCION 909 DE 2008</b>	Reglamenta los niveles de emisión de contaminantes que deberá cumplir toda la industria en el país, con la cual se actualiza la reglamentación expedida por el Ministerio de Salud hace más de 25 años. Esta normativa incluye cerca de 40 nuevas actividades industriales no contempladas anteriormente, límites de emisión para fuentes que operan con combustibles diferentes al carbón, 12 capítulos específicos para actividades industriales que por sus características particulares requieren una reglamentación más detallada y el protocolo para El control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.
<b>RESOLUCION 3500 DE 2005</b>	Sus modificaciones, se ha avanzado en la regulación sobre la revisión técnico-mecánica y de gases que aplica a vehículos y motocicletas que transiten por el territorio nacional, adoptando Normas Técnicas Colombianas.
<b>RESOLUCION</b>	Modifica los niveles de emisión de contaminantes al aire por

<b>910 DE JUNIO 5 DE 2008</b>	vehículos y motocicletas, que estaban vigentes desde hacía más de 10 años. La nueva Resolución regula las emisiones provenientes de motocicletas, de vehículos que usen mezclas de combustibles, las tecnologías que pueden ingresar al país y la revisión a vehículos convertidos a gas natural.
<b>RESOLUCION 601 DE 2006 Y 650 DE 2010</b>	En la Resolución 601 de 2006, norma nacional de calidad del aire, se incluyó la necesidad de elaborar un protocolo para garantizar la calidad de la información sobre calidad del aire que se reporta en el país.
<b>RESOLUCION 760 DE 2010</b>	Para garantizar el adecuado control y seguimiento a las industrias y como soporte de la nueva reglamentación para fuentes fijas, se elaboró y adoptó mediante Resolución 760 de 2010, el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas que estandariza la manera De realizar la evaluación del sector industrial.
<b>RESOLUCION 910 DE 2008</b>	Resolución 910 de 2008 del MAVDT, el IDEAM adelanta la elaboración de manuales de procesos de autorización y seguimiento para las autoridades ambientales, los comercializadores, representantes de marca, fabricantes, ensambladores e importadores de vehículos y/o motocicletas, motociclos y moto-triciclos, así como los laboratorios ambientales que realicen medición de emisiones contaminantes en fuentes móviles
<b>RESOLUCION 651 DE 2010</b>	Creó el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE), con base en el diseño elaborado por el IDEAM.
<b>CONPES 3344 DE 2005</b>	El MAVDT diseñó un programa de fortalecimiento institucional dirigido a dotar a las autoridades ambientales de la capacidad necesaria para acometer sus responsabilidades en materia de prevención, control y monitoreo de la contaminación del aire.
<b>PROTOCOLO NACIONAL DE INVENTARIO DE EMISIONES</b>	Nacional de Inventario de Emisiones Atmosféricas que permite desarrollar adecuadamente un inventario de emisiones, de manera que la información sea comparable y agregable con inventarios desarrollados En diferentes zonas del país.
<b>ARTICULO 5 DE LA LEY 99 DE 1993</b>	Establece las funciones del MAVDT: Establecer los límites máximos permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente o los recursos naturales renovables; del mismo modo prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental.
<b>ARTICULO 31 DE LA LEY 99 DE 1993</b>	Establece las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), dentro de las cuales a continuación se destacan las relacionadas con el tema de calidad del aire.
<b>DECRETO 244 DE 2006</b>	Creó la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y Control de la Contaminación (CONAIRE) como una instancia de carácter técnico que tuvo una vigencia de 4 años.

## ANEXO B: Modelos de Estimación de Emisiones

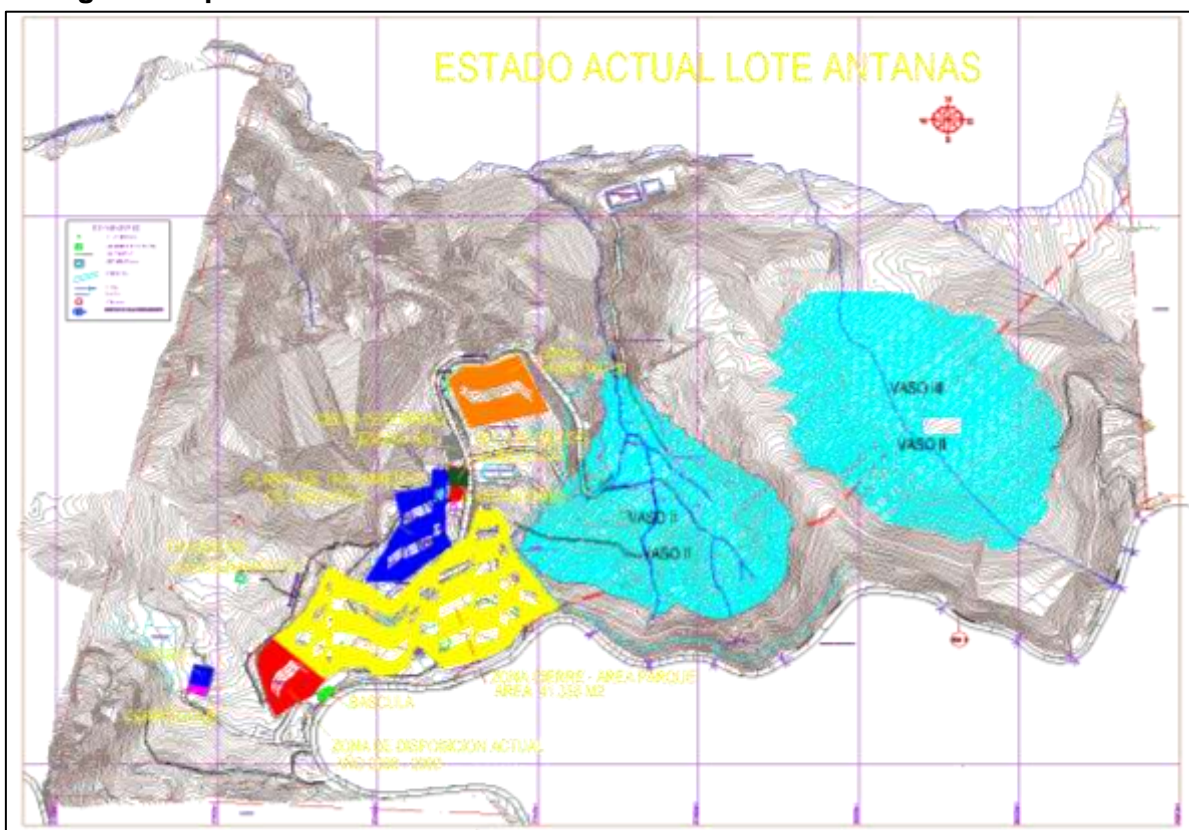
Tabla B1: modelos de estimación de emisiones

<b>FIRE</b>	Es una base de datos que contiene los factores de emisión recomendados por la EPA para contaminantes criterio y contaminantes peligrosos.
<b>PM Calculator</b>	Estima emisiones de material particulado de fuentes puntuales
<b>TANKS</b>	TANKS estima (VOC) y contaminantes peligroso del aire (HAP) de tanques fijos o flotantes
<b>LANDFILL</b>	Estima una diversidad de emisiones provenientes de rellenos sanitarios.
<b>WATER9</b>	WATER9, Calcula emisiones de plantas de tratamiento de aguas residuales
<b>BEIS</b>	Emisiones Biogénicas
<b>COPERTIII</b>	Emisiones Fuentes Móviles Europeo
<b>IVE</b>	Emisiones Fuentes Móviles para países en desarrollo
<b>MOBILE6</b>	Emisiones fuentes Móviles Estados Unidos
<b>PART 5</b>	Emisiones material particulado fuentes móviles

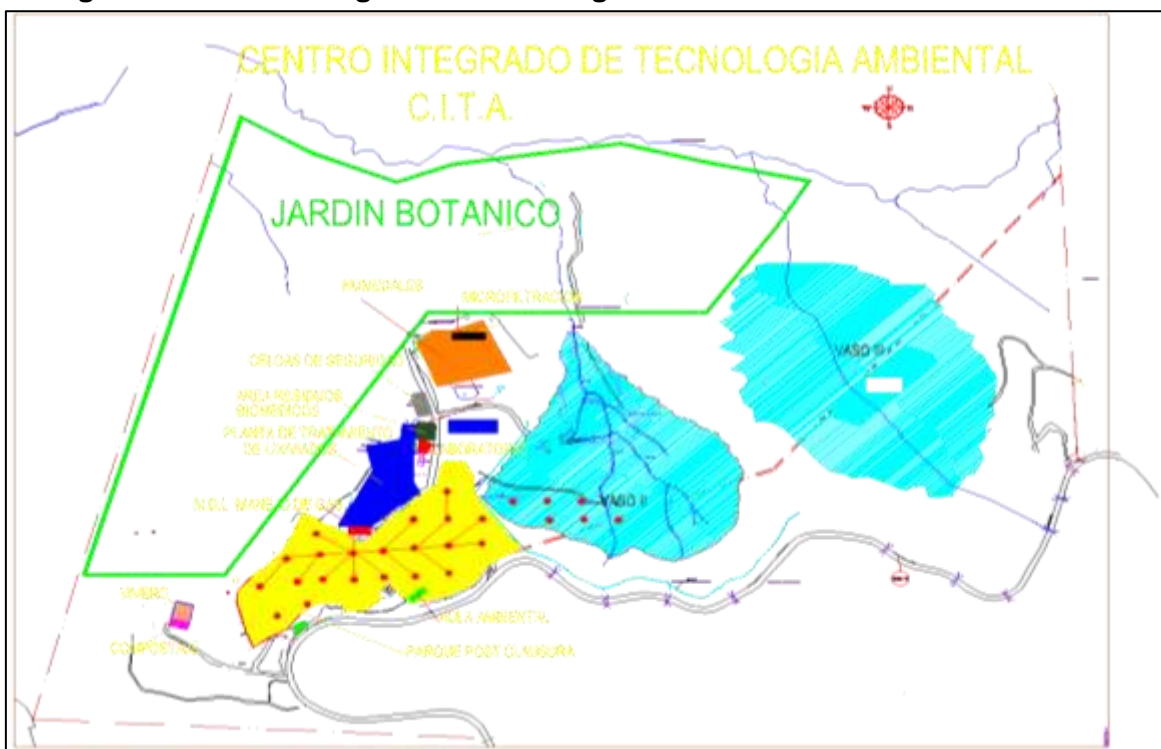
ANEXO C: ubicación y distribución del relleno sanitario “Antanas”  
 Figura C1: ubicación en el Departamento de Nariño



**Figura C2: plano de distribución del Relleno Sanitario Antánas**



**Figura C3: centro integrado de tecnología ambiental**



**ANEXO D: OPERACIÓN Y REGISTROS HISTORICOS DE DISPOSICION ANUAL  
DEL RELLENO SANITARIO “ANTÁNAS”**

**Tabla D1: registros históricos más proyecciones de la disposición anual**

<b>Año</b>	<b>Producción (ton/día)</b>	<b>Producción (ton/año)</b>	<b>Volumen Residuos (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Producción acumulada (ton)</b>	<b>Volumen Residuos acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
2003	223	81.379	81.379	81.379	81.379
2004	228	83.170	83.170	164.549	164.549
2005	233	84.999	84.999	249.549	249.549
2006	238	86.869	86.869	336.418	336.418
2007	243	88.781	88.781	425.199	425.199
2008	249	90.734	90.734	515.932	515.932
2009	254	92.730	92.730	608.662	608.662
2010	260	94.770	94.770	703.432	703.432
2011	265	96.855	96.855	800.287	800.287
2012	271	98.986	98.986	899.273	899.273
2013	277	101.163	101.163	1.000.436	1.000.436
2014	283	103.389	103.389	1.103.825	1.103.825
2015	289	105.664	105.664	1.209.489	1.209.489
2016	296	107.988	107.988	1.317.477	1.317.477
2017	302	110.364	110.364	1.427.841	1.427.841
2018	309	112.792	112.792	1.540.633	1.540.633
2019	316	115.273	115.273	1.655.906	1.655.906
2020	323	117.809	117.809	1.773.715	1.773.715
2021	330	120.401	120.401	1.894.117	1.894.117
2022	337	123.050	123.050	2.017.166	2.017.166
2023	345	125.757	125.757	2.142.924	2.142.924
2024	352	128.524	128.524	2.271.447	2.271.447
2025	360	131.351	131.351	2.402.798	2.402.798
2026	368	134.241	134.241	2.537.039	2.537.039
2027	376	137.194	137.194	2.674.234	2.674.234
2028	384	140.213	140.213	2.814.446	2.814.446
2029	393	143.297	143.297	2.957.743	2.957.743
2030	401	146.450	146.450	3.104.193	3.104.193

**ANEXO E: CARACTERIZACION DE LOS RSU**

**Tabla E1: composición de los residuos sólidos urbanos**

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b><i>promedio para la ciudad</i></b>
RESIDUOS DE COMIDA	40,2
RESIDUOS DE JARDIN	32,5
PRODUCTOS DE PAPEL	2,7
PRODUCTOS DE CARTON	1,8
PLASTICO	8,4
CAUCHO Y CUERO	1,3
TEXTILES	0,9
MADERA	0,8
PRODUCTOS METALICOS	1,7
CENIZAS Y PRODUCTO CERAMICOS	0,09
VIDRIO	2,2
HUESOS	-
OTROS	-
ICOPOR	0,3
PAPEL HIGIENICO Y DESECHAB.	8,6
<b>TOTALES</b>	<b>99,79</b>

**Tabla E2: composición química de los residuos**

<b>PARAMETRO</b>	<b>CONTENIDO</b>
PH	5,52
Humedad	72,56 %
Material seco	25,96 %
Cenizas	30,15 %
Material orgánico	44,15 %
Nitrógeno	1,65 %
Fósforo	0,19 %
Potasio	1,91 %
Carbono	25,62 %



**ANEXO F: REGISTROS FOTOGRAFICOS DE LA PLANTA DE DESGASIFICACION  
-BIONERSIS S.A**

**1. Sistema de aspiración Y monitoreo de gases. 2. Válvula de regulación de ingreso del gas**



**3. panel de control para el monitoreo y calibración de gases 4. Válvula de regulación de flujo de ingreso**



**5. válvula de regulación de flujo y compensador de vibraciones. 6. Supresor o bomba de succión**





7. control de seguridad de temperatura.



8. Control visual de temperatura y presión.



9. antorcha principal



10. Panel de mando

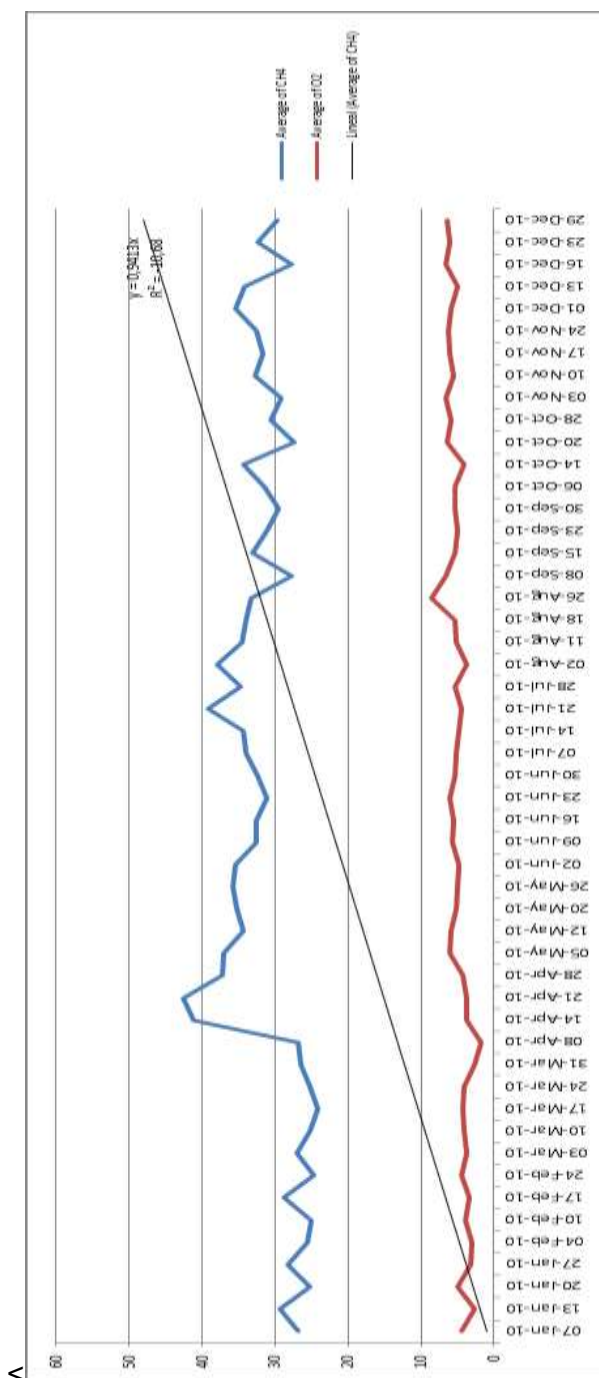


**F1: valores promedios en porcentajes volumen de Metano y oxigeno año 2010**

	Values	
Etiquetas de fila	Average of CH4	Average of O2
07-Jan-10	26,76323529	4,530882353
13-Jan-10	29,44852941	2,586764706
20-Jan-10	25,26911765	4,952941176
27-Jan-10	28,31323529	3,282352941
04-Feb-10	25,62941176	3,119117647
10-Feb-10	25,14411765	3,879411765
17-Feb-10	28,74117647	3,308823529
24-Feb-10	24,75735294	4,514705882
03-Mar-10	27,04705882	3,751470588
10-Mar-10	25,21911765	4,023529412
17-Mar-10	24,08088235	4,338235294
24-Mar-10	25,27647059	4,039705882
31-Mar-10	26,49558824	2,752941176
08-Apr-10	26,91617647	1,723529412
14-Apr-10	41,10735294	3,75
21-Apr-10	42,53088235	3,75
28-Apr-10	37,3238806	4,280597015
05-May-10	37,13731343	6,019402985
12-May-10	34,33432836	5,880597015
20-May-10	35,23283582	5,135820896
26-May-10	35,82238806	5,062686567
02-Jun-10	35,47761194	4,780597015
09-Jun-10	32,64328358	5,737313433
16-Jun-10	32,52238806	5,580597015
23-Jun-10	31,2358209	6,156716418
30-Jun-10	32,43283582	5,317910448
07-Jul-10	33,98656716	5,205970149
14-Jul-10	34,36268657	4,892537313
21-Jul-10	39,22835821	4,492537313
28-Jul-10	34,71940299	5,417910448
02-Aug-10	38,00298507	3,776119403
11-Aug-10	34,57462687	5,244776119
18-Aug-10	34,04393939	5,367164179
26-Aug-10	33,27164179	8,673134328
08-Sep-10	27,79848485	6,642424242
15-Sep-10	33,03134328	5,3
23-Sep-10	31,12537313	5,044776119
30-Sep-10	29,59701493	5,366212121
06-Oct-10	31,48507463	5,331343284
14-Oct-10	34,44626866	4,188059701
20-Oct-10	27,38955224	6,504477612
28-Oct-10	30,67910448	5,967164179
03-Nov-10	29,15074627	6,631343284
10-Nov-10	32,77462687	5,519402985
17-Nov-10	31,67538462	6,043939394
24-Nov-10	32,52272727	6,321212121
01-Dec-10	35,46439394	5,947727273

13-Dec-10	34,13939394	4,972727273
16-Dec-10	27,73030303	6,537878788
23-Dec-10	32,41818182	6,121212121
29-Dec-10	29,66060606	6,448484848
<b>Total general</b>	<b>31,6303812</b>	<b>4,993945559</b>

Grafica F1: contenido de Metano y oxígeno en el biogás año 2010



## ANEXO G: REGISTROS FOTOGRAFICOS DE LA PLANTA DE TRATMIENTO DE LIXIVIADOS

Figura 25: reactor UASB



Figura 26: laguna de excesos vaso II



Figura 27: tanque de almacenamiento  
Desarenador



Laguna de igualación



laguna de excesos vaso





laguna aireada facultativa



Reactor de lodos activados



Sedimentador secundario



planta fisicoquímica



Reactor Sulfidogénico



laguna de maduración



**Tabla G1: caudales de agua en la planta de lixiviados**

mes	caudal afluente- efluente	afluente PTL		efluente PTL	
	caudal(L/s)	DBO mg/L	SST mg/L	DBO mg/L	SST mg/L
enero	0	11500	1870	1824	450
febrero	3,1	20917	2770	730	266
marzo	1,1	39500	3186	356	365
abril	1	31200	2580	480	473
mayo	0	15563	4318	270	188
junio	0,6	10575	3280	304	360
julio	0,8	13320	1980	395	253
agosto	0,8	13100	1700	420	270
septiembre	0,8	15200	1040	298	290
octubre	0,8	12367	3133	194	260
noviembre	0,8	11040	1370	1470	550
diciembre	0,8	19800	890	725	180

**ANEXO H: ANEXO: base de datos de contaminantes en LandGEM**

Gas/Pollutant	Concentration (ppmv)	Molecular Weight	Notes
<b>Gases</b>			
Total landfill gas	Not applicable	30.03	
Methane	Not applicable	16.04	
Carbon dioxide	Not applicable	44.01	
NMOCs	4,000 for CAA	86.18	
	600 for Inventory No or Unknown Co-disposal		
	2,400 for Inventory Co-disposal		
<b>Pollutants:</b>			
1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform)	0.48	133.41	A
1,1,2,2-Tetrachloroethane	1.1	167.85	A, B
1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride)	2.4	98.97	A, B
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride)	0.20	96.94	A, B
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	0.41	98.96	A, B
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride)	0.18	112.99	A, B
2-Propanol (isopropyl alcohol)	50	60.11	B
Acetone	7.0	58.08	
Acrylonitrile	6.3	53.06	A, B
Benzene	1.9 for No or Unknown Co-disposal	78.11	A, B
	11 for Co-disposal		
Bromodichloromethane	3.1	163.83	B
Butane	5.0	58.12	B
Carbon disulfide	0.58	76.13	A, B
Carbon monoxide	140	28.01	
Carbon tetrachloride	$4.0 \times 10^{-3}$	153.84	A, B
Carbonyl sulfide	0.49	60.07	A, B
Chlorobenzene	0.25	112.56	A, B
Chlorodifluoromethane	1.3	86.47	
Chloroethane (ethyl chloride)	1.3	64.52	A, B
Chloroform	0.03	119.39	A, B
Chloromethane	1.2	50.49	B
Dichlorobenzene	0.21	147	B, C
Dichlorodifluoromethane	16	120.91	
Dichlorofluoromethane	2.6	102.92	B
Dichloromethane (methylene chloride)	14	84.94	A
Dimethyl sulfide (methyl sulfide)	7.8	62.13	B
Ethane	890	30.07	
Ethanol	27	46.08	B
Ethyl mercaptan (ethanethiol)	2.3	62.13	B
Ethylbenzene	4.6	106.16	A, B
Ethylene dibromide	$1.0 \times 10^{-3}$	187.88	A, B
Fluorotrichloromethane	0.76	137.38	B
Hexane	6.6	86.18	A, B
Hydrogen sulfide	36	34.08	
Mercury (total)	$2.9 \times 10^{-4}$	200.61	A
Methyl ethyl ketone	7.1	72.11	A, B
Methyl isobutyl ketone	1.9	100.16	A, B
Methyl mercaptan	2.5	48.11	B
Pentane	3.3	72.15	B
Perchloroethylene (tetrachloroethylene)	3.7	165.83	A
Propane	11	44.09	B
t-1,2-Dichloroethene	2.8	96.94	B
Toluene	39 for No or Unknown Co-disposal	92.13	A, B
	170 for Co-disposal		
Trichloroethylene (trichloroethene)	2.8	131.40	A, B
Vinyl chloride	7.3	62.50	A, B
Xylenes	12	106.16	A, B

**ANEXO I: PLANEACION DEL INVENTARIO DE EMISIONES AÑO 2010**  
**Tabla I1: formulario fuente puntual BIONERSIS S.A**

**Carta de presentación**



**INVENTARIO DE EMISIONES COMO  
INSTRUMENTO ESTRATEGICO EN EL  
DISEÑO DEL PGCA DE LA ENTIDAD**

**RELLENO SANITARIO ANTANAS  
EMAS S.A E.S.P SAN JUAN DE PASTO**



**INGENIERA:**

**DIANA MESIAS**  
**Coordinadora Planta**  
**BIONERSIS**  
**San Juan de Pasto**

**CORDIAL SALUDO**

Teniendo en cuenta el cronograma de actividades de la investigación en marcha y con el objetivo de alimentar la base de datos del inventario de emisiones en curso de realizarse, permítame solicitarle de la manera más atenta, diligenciar el presente cuestionario constituyendo una técnica en la estimación de emisiones atmosféricas para luego ser evaluadas como factores de emisión (AP- 42.EPA).

El cuestionario consta de una serie de preguntas de diferentes tipos referentes a la normal operación, funcionamiento y manejo de la planta de desgasificación que acertadamente está a su cargo y está identificada como principal fuente de emisión de gases en la zona de estudio.

**Universitariamente,**

**LIZETH ALEJANDRA ERAZO ERAZO**  
**C.C No. 1.085.904.369 Ipiales- Nariño**  
**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**Estudiante Tesista**



### Justificación

Con base a la identificación de fuentes de emisión, la planta de desgasificación presente en el relleno sanitario Antánas que además de considerarse una tecnología de control con el propósito de disminuir el grado de contaminación al medio atmosférico, esta es identificada como principal fuente puntual de emisiones; por tal motivo, es necesario la realización del presente cuestionario para afianzar la calidad de la información en el proceso de estimación de las emisiones generales de la zona de estudio.

### Objetivos de la encuesta

Estimar las emisiones al medio atmosférico por parte de fuentes puntuales, difusas, móviles y dispersas, permitir su incorporación a la base de datos a desarrollarse en la entidad con la investigación en marcha para su posterior aplicación en actualizaciones e informes a las autoridades ambientales, esto como parte esencial de la gestión de calidad del aire de la entidad prestadora del servicio.

La obtención de información de alta calidad permitirá alimentar la base de datos y el software de modelación de calidad de aire, con datos eficientes que permitirá también ser evaluados como factores de emisión para resultados más acertados.

### Ficha técnica

#### ➤ Entidad destino:

<b>entidad</b>	Planta desgasificadora-BIONERSIS
<b>encargado</b>	Ing. Diana Mesías
<b>dirección</b>	Parque ambiental Antánas
<b>Tipo de fuente</b>	Fuente puntual o fija

#### ➤ Entidad de origen

<b>entidad</b>	UNIVERSIDAD DEL CAUCA – EMAS S.A E.S.P
<b>Encargado</b>	Lizeth Alejandra Erazo – Estudiante Tesista
<b>Dirección</b>	Cra 23 No. 20-75 centro
<b>teléfono</b>	316 430 77 00
<b>Correo electrónico</b>	Lizetherazo7@gmail.com

### Recomendaciones

Para el correcto diligenciamiento del cuestionario tenga en cuenta lo siguiente:

- En la sección de anexos se encuentra el instructivo de llenado, dividido por secciones para su fácil manejo.
- El cuestionario se envía también por correo electrónico, por lo que se recomienda diligenciarlo también por vía electrónica, si usted así lo desea.
- Cualquier inquietud, sugerencia o comentario comunicarse al correo electrónico de la ficha técnica o al teléfono de la misma.
- Cuando haya finalizado el cuestionario, por favor comunicarse al correo electrónico para su recepción.

**REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIAS DE CONTAMINANTES EN LA ZONA DEL PARQUE AMBIENTAL ANATANAS, PLANTA DE DESGASIFICACION-BIONERSIS, 2010.**

**Sección 1: Identificación del Establecimiento**

<b>Nombre</b>		
<b>Cargo</b>		
<b>Teléfonos</b>	<b>Empresa:</b>	<b>Celular:</b>
	<b>Fax:</b>	
<b>Nombre del establecimiento</b>		
<b>Dirección exacta</b>		
<b>Municipio</b>		
<b>Número de empleados</b>	<b>Profesionales</b>	
	<b>Técnicos</b>	
	<b>operarios</b>	
<b>Clasificación industrial</b>		
<b>Firma del representante</b>		

**Sección 2: Contacto técnico** (en caso de ser diferente del establecimiento)

<b>Nombre</b>		
<b>Cargo</b>		
<b>Teléfonos</b>	<b>Fijo</b>	
	<b>Celular</b>	
<b>dirección</b>		

**Sección 3: Identificación de sustancias químicas**

<b>Numero CAS</b>		<b>Clave de categoría</b>	
<b>Nombre químico o categoría</b>			

**Sección 4: Producción y uso de sustancias** (detallar las sustancias en cada caso)

DETALLE	SUSTANCIAS	CANTIDAD TOTAL (Kg/Año)
Entra al proceso o tratamiento (materia prima e insumos directos)		
Se genera en el proceso o tratamiento		
No entra, no se genera (insumos indirectos)		

**Sección 5: emisiones al medio atmosférico**

ACTIVIDAD	CONTAMINANTES (especiación de sustancias)	CANTIDAD TOTAL (Kg/día)	BASE DE ESTIMACIÓN
Proceso			
Otros			

EMISIONES TOTALES	
Total de emisiones del años anterior(Kg/año) (2010)	
Total de emisiones estimadas para el año siguiente (Kg/año) (2011)	

**Sección 6: características del equipo de control**

Tipo de tecnología de control		
Eficiencia de captura del biogás (%)		
Cubrimiento de la captación sobre el sitio (%)		
Año de apertura o de arranque de la planta		
Tasa de generación (Kg/ año)	Metano CH <sub>4</sub>	
	Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	
Potencial de capacidad de generación de Metano ,CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /Mg)		

<b>Concentración de NMOC (ppm(v))</b>	
<b>Contenido de Metano, CH<sub>4</sub> (% en volumen)</b>	

**Sección 7: distribución temporal**

<b>Periodos de operación (cantidad del contaminante Vs tiempo)</b>			
<b>Turnos de operación (si es el caso especifique cuales)</b>			
<b>Producción global de biogás</b>	<b>Anual</b>		
	<b>Mensual</b>		
	<b>semanal</b>		
<b>Uso de combustible en alguna operación (si es el caso especifique el tipo de combustible)</b>			
<b>Consumo energético</b>			
<b>Consumo anual de materias primas</b>			
<b>Técnicas de maquinaria y equipos auxiliares en el proceso</b>			
<b>Generación anual de productos directos, subproductos y residuos.</b>			
<b>Georeferenciación de las fuentes de emisión</b>	<b>chimenea</b>	<b>Altura</b>	
		<b>diámetro</b>	
<b>Mediciones directas</b>	<b>Velocidad de salida del gas</b>		
	<b>Temperatura de salida</b>		
	<b>Presión barométrica</b>		

	<b>Caudal de referencia</b>	
	<b>Concentraciones</b>	
	<b>especiación</b>	
<b>Observaciones que considere de interés</b>		

**Sección 8: factores relacionados al proceso**

<b>Tipo y Tamaño del equipo</b>	<b>Tipo:</b>
	<b>Tamaño:</b>
	<b>Antigüedad.</b>
	<b>Procedencia:</b>
<b>Composición y caracterización química del combustible</b> (solo si es el caso)	
<b>Grado de atomización, relación combustible (biogás)/aire</b>	
<b>Nivel de instrumentación</b> (con qué equipos de tecnología se cuenta)	
<b>Con que frecuencia se hace mantenimiento a los equipos.</b> (especifique en la casilla)	

**Sección 9: eventualidades** (seleccione con una X)

<b>Alguna vez se ha presentado incendios</b>	
--	--

Alguna vez ha ocurrido brote o afloramiento de lixiviado	
Alguna vez se han presentado fugas en los ductos de captación	
Alguna vez la planta ha dejado de operar por más de una semana	
Se han hecho reparaciones al equipo de control	
Existen emisiones fugitivas no computadas	
Alguna vez ha ocurrido escapes accidentales de líquidos o gases	

En qué momento deja de operar la planta normalmente.	
Que requiere la planta para un buen funcionamiento técnico.	

**Sección 10: prevención y control de la contaminación**

<b>ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN (seleccionar con una x)</b>	
Cambio en prácticas de operación	
Control de inventario de emisiones	
Prevención de derrames y fugas	
Cambio de materia prima y/o insumos	
Modificaciones al proceso	
Cambio en prácticas de limpieza	
Equipos de control de contaminación	
Datos a micro-escala de meteorología	
Otros:	

## INSTRUCCIONES PARA EL LLENADO DEL CUESTIONARIO

### Sección 1: identificación del establecimiento

El establecimiento comprende a todas las construcciones, equipo, estructura y otros bienes estacionarios que se encuentran localizados en un mismo lugar o en sitios contiguos o adyacentes en la zona de estudio, pertenecientes a una misma empresa.

- Indicar el nombre del establecimiento
- Escribir la dirección en los espacios indicados
- Número de empleados de tiempo completo
- Calve de la clasificación industrial (anexo 1)
- Localización geográfica empleando coordenadas

### Sección 2: contacto técnico

El contacto técnico es el representante de la empresa, este para aclaraciones sobre la información proporcionada en el cuestionario. Puede ser un representante asignado por la empresa o un consultor externo.

### Sección 3: identificación de sustancias químicas

El numero CAS o clave de categoría identifica a las sustancias químicas específicas y es asignado por el *Chemical Abstracts Service* de la *American Chemical Society*. Se ha asignado una clave para las categorías químicas que incluyen una serie de compuestos relacionados, y además, el nombre químico o categoría indica el nombre químico al cual pertenece la sustancia. (Anexo 1).

### Sección 4: producción y uso de sustancias químicas

- Si la sustancia entra al proceso como materia prima o insumo directo, por ejemplo, reactivos, solventes, catalizadores, etc.
- Si la sustancia se genera en el proceso como subproducto, impureza, producto intermedio o final, productos de combustión, etc.
- Si la sustancia no entra, ni se genera en el proceso tratamiento, pero es utilizada dentro de la empresa como insumos directos como refrigerantes, lubricantes, combustibles, etc.
- La cantidad total de la sustancia que existió en el establecimiento durante el año que se reporta, incluyendo el ingreso, almacenamiento, proceso y generación.

### Sección 5: emisiones al medio atmosférico

Las emisiones generadas en el proceso productivo. Reportar la cantidad total (Kg) de las emisiones al aire, conducidas y fugitivas, generadas en el proceso y/o durante el almacenamiento, incluyendo las emisiones generadas por combustión.

La base de estimación para cada una de las cifras reportadas debe especificarse la clave correspondiente al método principal empleado en la determinación.

**Cuadro 1: base de estimación**

CLAVE	METODO
M	La estimación se basa en datos de monitoreo o mediciones de la sustancia tóxica.
C	La estimación se basa en cálculos de balance de materiales, tal como el cálculo de la cantidad de sustancia tóxica en residuos que entra o sale de los equipos de proceso.
E	La estimación se basa en factores de emisión publicados, tales como los que relacionan la cantidad de emisión al tipo de equipo (p. ej. factores de emisión para aire).
O	Otros métodos, tales como cálculos de ingeniería (p. ej. estimación de la volatilización empleando fórmulas matemáticas publicadas).

Indicar la cantidades sustancia (Kg) emitida durante el tratamiento y otros usos dentro del establecimiento.

El total de emisiones será la suma de las cantidades reportadas.

**Sección 6: características del equipo de control**

- *Tipo de tecnología;* corresponde al equipo de control o técnica implementada para la prevención y disminución de la contaminación.
- *Eficiencia de captura;* definir la eficiencia de captura en función de: El diseño del sistema de captura, la operación y mantenimiento del sistema de captura y la configuración del relleno sanitario, operación y condiciones del sitio.
- *Cubrimiento de captación;* referente al total de recubrimiento final en la zona de disposición de residuos.
- *Año de arranque;* año en que se inició los procesos de captación de biogás.

**Sección 7: distribución temporal**

Una detallada descripción de la distribución de las actividades operarias y del proceso teniendo en cuenta la variación del tiempo. Producción de biogás y demás subproductos, así como también el uso de materias primas y componentes energéticos.

**Sección 8: factores relacionados al proceso**

- *Tipo y Tamaño del equipo;* características generales del equipo de control de la contaminación, componentes tecnológicos, equipos auxiliares, funcionamiento y referencias.
- *Composición y caracterización química del combustible;* si en algún momento o etapa del proceso se hace uso de algún tipo de combustible, especificar el tipo y la cantidad utilizada mensual y anualmente.
- *Grado de atomización, relación combustible (biogás)/aire;* a parte del uso de combustible (si ese es el caso), cual es la relación de combustible/aire para efecto de la combustión.
- *Nivel de instrumentación;* el nivel de instrumentación se refiere al equipo total que compone el dispositivo tecnológico de control de la contaminación (planta desgasificadora)



- *Con que frecuencia se hace mantenimiento a los equipos; especificar las labores de mantenimiento al equipo, o si en algún momento se ha realizado un cambio técnico al equipo.*

### **Sección 9: eventualidades**

Marque con una **X** las eventualidades que hallan sucedido en la planta de desgasificación, o en la red de captación del biogás o en general alguna estructura que intervenga en el correcto funcionamiento del equipo de control.

### **Sección 10: prevención y control de la contaminación**

- En este apartado se deben seleccionar con una X las acciones emprendidas por el establecimiento para la prevención y control de la contaminación como:
  - Cambios en las prácticas de operación.
  - Control de inventarios
  - Prevención de derrames y fugas
  - Modificaciones al proceso
  - Equipos de control de la contaminación
- Especificar las emisiones totales del año anterior y una estimación para el año siguiente.
- se solicita una relación entre la producción del año que se reporta y el anterior o un índice de actividad basado en una variable diferente a la producción que refleje en mayor medida las cantidades de sustancias químicas emitidas.

(ANEXO DEL FORMULARIO)

1. *clasificación de actividades industriales*

CLAVE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL
232001	Extracción y/o beneficio de minerales con alto contenido de oro, plata y otros minerales y metales preciosos
311201	Tratamiento y envasado de leche
311202	Elaboración de crema, mantequilla y queso
311301	Preparación y envasado de frutas y legumbres
311406	Elaboración de otros productos de molino a base de cereales y leguminosas
312123	Elaboración de almidones, féculas y levaduras
312200	Preparación y mezcla de alimentos para animales
313050	Elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas
321202	Hilado de fibras blandas
321207	Acabado de hilos y telas de fibras blandas
341021	Fabricación de papel
341022	Fabricación de cartón y cartoncillo
341034	Fabricación de otros productos de papel, cartón y pasta de celulosa
342002	Edición de libros y similares
342003	Edición de libros y similares
351100	Impresión y encuadernación
351212	Fabricación de productos petroquímicos básicos
351213	Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos
351215	Fabricación de colorantes y pigmentos
351221	Fabricación de aguarrás y brea o colofonia
351222	Fabricación de fertilizantes
351231	Mezcla de insecticidas y plaguicidas
351300	Fabricación de resinas sintéticas y plastificantes
352100	Fabricación de fibras químicas
352210	Fabricación de productos farmacéuticos
352221	Fabricación de pinturas, barnices, lacas y similares
352231	Fabricación de perfumes, cosméticos y similares
352237	Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares
352238	Fabricación de limpiadores, aromatizantes y similares
354002	Fabricación de aceites esenciales
355001	Elaboración de aceites lubricantes y aditivos
355003	Fabricación de llantas y cámaras
356007	Fabricación de piezas y artículos de hule natural o sintético
362021	Fabricación de artículos de plástico reforzado
362022	Fabricación de envases y ampollitas de vidrio
369131	Fabricación de productos diversos de vidrio y cristal refractario y técnico
372003	Fabricación de abrasivos
381100	Fundición y/o refinación de cobre y sus aleaciones
381405	Fundición y/o refinación de cobre y sus aleaciones
381411	Fundición y moldeo de piezas metálicas
381412	Fabricación de tornillos, tuercas, remaches y similares
381413	Fabricación de baterías de cocina
382106	Galvanoplastia en piezas metálicas
	Fabricación de otros productos metálicos
382204	Fabricación, ensamble y reparación de maquinaria y equipo para otras industrias específicas

<b>382206</b>	Fabricación de partes y piezas metálicas sueltas para maquinaria y equipo en general
<b>383109</b>	Fabricación de equipos y aparatos de aire acondicionado, refrigeración y calefacción
<b>383302</b>	
<b>383304</b>	Fabricación de materiales y accesorios eléctricos
<b>383305</b>	Fabricación y ensamble de refrigeradores de uso doméstico
	Fabricación y Ensamble de Enseres Domésticos Menores
<b>384122</b>	Fabricación, Ensamble y Reparación de Máquinas de coser de uso doméstico
<b>384123</b>	
	Fabricación de motores y sus partes, para automóviles y camiones
<b>384125</b>	Fabricación de partes y accesorios para el sistema de frenos de automóviles y camiones
<b>384126</b>	Fabricación de partes y accesorios para el sistema de frenos de automóviles y camiones
<b>979002</b>	Fabricación de otras partes y accesorios para automóviles y camiones
	Servicios de almacenamiento y refrigeración



## 2. lista de sustancias

NOMBRE	NUMERO DE CAS
<b>2-naftilamina</b>	91-59-8
<b>2-nitropropano</b>	79-46-9
<b>3,3'-diclorobencidina</b>	91-94-1
<b>4,4'-metilenobis (N,N-dimetil) anilina</b>	101-61-1
<b>4,4'-metilen bis(2-cloroanilina)</b>	101-14-4
<b>4,6-dinitro-o-cresol</b>	534-52-1
<b>4-aminoazobenceno</b>	60-09-3
<b>4-aminobifenilo</b>	92-67-1
<b>4-nitrobifenil</b>	92-93-3
<b>4-nitrofenol</b>	100-02-7
<b>4-nitrosomorfolina</b>	59-89-2
<b>Acetaldehído</b>	75-07-0
<b>Acetamida</b>	60-35-5
<b>Acrilamida</b>	79-06-1
<b>Acrilonitrilo</b>	107-13-1
<b>Acroleína</b>	107-02-8
<b>Aldrin</b>	309-00-2
<b>Alfa-clorotolueno</b>	100-44-7
<b>Alfa-hexaclorociclohexano</b>	319-84-6
<b>Anilina</b>	62-53-3
<b>Antraceno</b>	120-12-7
<b>Benceno</b>	71-43-2
<b>Bencidina</b>	92-87-5
<b>Berilio</b>	7440-41-7
<b>Bifenil</b>	92-52-4
<b>Bióxido de carbono</b>	124-38-9
<b>Bis (2-cloro-1-metil etil) eter</b>	108-60-1
<b>bis (clorometil) eter</b>	542-88-1
<b>Bis(2-cloroetil)eter</b>	111-44-4
<b>Bis(2-etilhexil)ftalato</b>	117-81-7

<b>Boro</b>	7440-42-8
<b>BromodichloroMetano</b>	75-27-4
<b>Metano</b>	74-82-8
<b>1,1,2-tricloroetano</b>	79-01-6
<b>1,2 dicloroetano</b>	107-06-2
<b>Dióxido de cloro</b>	10049-04-4
<b>Disulfuro de Carbono</b>	75-15-0
<b>Monóxido de Carbono</b>	630-08-0
<b>Óxido nitroso</b>	10024-97-2
<b>Dióxido de cloro</b>	10049-04-4
<b>Bióxido de carbono</b>	124-38-9
<b>Clorodibromo Metano</b>	124-48-1
<b>Sulfuro de hidrógeno</b>	4/6/7783
<b>compuestos metálicos</b>	
	<b>clave</b>
<b>Arsénico (inorgánico)</b>	CCM 01
<b>Cadmio (formas inorgánicas, respirable y soluble)</b>	CCM 02
<b>Cromo (+VI)</b>	CCM 03
<b>Cobalto (sales inorgánicas y solubles)</b>	CCM 04
<b>Cobre (sales inorgánicas)</b>	CCM 05
<b>Plomo (en todas sus formas excepto la alquílica)</b>	CCM 06
<b>Mercurio (inorgánico y elemental)</b>	CCM 07
<b>Níquel (inorgánico, respirable, soluble)</b>	CCM 08
<b>Plata (sales inorgánicas solubles)</b>	CCM 09
<b>Zinc (inorgánico, respirable, soluble)</b>	CCM 10
<b>Uranio (inorgánico, respirable, soluble)</b>	CCM 11
<b>Selenio y compuestos</b>	CCM 12
<b>Gases de combustión (sustancias)</b>	
	<b>clave</b>
<b>Óxidos de azufre (SOX)</b>	CGC 01
<b>Óxidos de nitrógeno (NOX)</b>	CGC 02

NOTA: el anterior anexo corresponde a uno de los formularios elaborados para la obtención de información de las fuentes de emisión, en este caso la planta de desgasificación (BIONERSIS), este es el mismo formato que se aplica las demás fuentes de emisión, dado que se aplicó este mismo formatos para la planta de tratamiento de lixiviados, la disposición final de RSU y el parque automotor.

**Tabla I2: formatos de trabajo de campo**

		<p style="text-align: center;"> <b>INVENTARIO DE EMISIONES COMO INSTRUMENTO ESTRATEGICO                      EN EL DISEÑO DEL PGCAI                      RELLENO SANITARIO ANTANAS                      EMAS S.A E.S.P SAN JUAN DE PASTO</b> </p>			 Universidad del Cauca	
fFuente de emision	tipo de fuente	contaminantes	informacion	encargado	observaciones	

	<b>INVENTARIO DE EMISIONES COMO INSTRUMENTO ESTRATEGICO EN EL DISEÑO DEL PGCAI RELLENO SANITARIO ANTANAS EMAS S.A E.S.P SAN JUAN DE PASTO</b>			 Universidad del Cauca		
	<b>DETALLE - VISITA</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>ATENCION POR PARTE DE:</b>		<b>FECHA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>

**Tabla I3: ficha técnica anexa del inventario**

FICHA TECNICA DEL IE	
CARACTERISTICA	DESCRIPCION
<b>Proposito</b>	diseño del PGCAI y monitoreo de la calidad del aire
<b>Alcances</b>	protocolo de manejo de informacion y alimentacion de la base de datos. Definir zonas problematicas. Identificar temas y/o actividades de interes particular.
<b>SVCA asociado</b>	no existe
<b>Dominio</b>	zona correspondiente al parque ambiental antanas
<b>Ambito Temporal</b>	año base: 2010 resolucion temporal: anual
<b>Contaminantes Considerados</b>	dioxido de carbono CO2, Metano CH4, Óxidos de nitrógeno NOX, Óxidos de azufre SOX, Material particulado PM10 Y PST, Compuestos orgánicos volátiles COVS,
<b>Tipos de Fuentes</b>	fuentes fijas puntuales: chimeneas y/o ductos. Fuentes dispersas o de area: planta tto. Lixiviados fuentes moviles: parque automotor
<b>Fuentes No Consideradas</b>	material particulado y quemas de las zonas de periferia.
<b>Particularidades</b>	

PARAMETRO	CARACTERISTICA	COMENTARIOS
<b>Cobertura Geografica</b>	jurisdiccion de la planta	
<b>Resolucion Temporal</b>	base anual resolucion horaria	aplica modelos de resolucion horaria
<b>Tipos de Fuentes</b>	antropogenicas	
<b>Contaminantes</b>	criterio	
<b>Nivel de Detalle</b>	identificacion de fuentes. Obtencion de emisiones. Estudio de expedientes. Datos geometricos-modelac.	
<b>Condiciones Especiales</b>	incertidumbre media. Actualizacion anual.	
<b>Bases de datos</b>	tipo hoja de calculo. Software base de datos y de modelacion	
<b>Profesionales</b>	director - estudiante	
<b>Tiempo de desarrollo</b>	4-6 meses	

*Fuente: elaboración propia*

**Tabla I4: fuentes de emisión y fuentes de información**

fuentes de emision	contaminantes	informacion	tipo de informacion
<b>fuentes puntuales fija</b>			
planta desgasificadora	metano, oxigeno y dióxido de carbono (gases criterio)	BIONERSIS	porcentajes de contenido, flujos volumetricos de biogas, registros historicos
<b>fuentes puntuales de area</b>			
disposicion de residuos en la tierra	metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno	EMAS S.A	registros historicos de disposicion, características de operación y funcionamiento, y de la zona
<b>fuentes moviles</b>			
parque automotor (camiones, bolquetas...)	material particulado y gases	EMAS S.A, secretaria de transito	registros de pesaje, registros espacio temporales de operación
<b>fuentes fijas</b>			
planta de tto. De lixiviados	metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno, fosfatos,	EMAS S.A	registros historicos de volumen de aguas tratadas, diseño y operación de la PTL
<b>fuentes diversas</b>			
celdas de almacenamiento y vias de acceso	Material particulado	EMAS S.A	operación diaria del relleno sanitario

**Tabla I5: clasificación de las técnicas de estimación**

FUENTES DE EMISION	COMPONENTES	CONTAMINANTES	METODOS DE ESTIMACION
<i>planta de desgasificacion</i>	ductos- pozos- red captacion	gases criterio	datos de medicion en la fuente
<i>planta de tratamiento de lixiviados</i>	lagunas- reactores- planta agua potable- residuos -	gases criterio	factores de emision
<i>zona de disposicion final</i>	operación y manejo de celdas de almacenamiento	material particulado	modelacion landGEM
<i>parque automotor</i>	camiones y demas automoviles	gases criterio y PM	factores de emision
<i>fuentes diversas</i>	antorchas- vias de acceso	gases- material particulado	factores de emision



## **ANEXO J: INFORME DE EMISIONES LandGEM AÑO 2010**

El anexo J muestra el formato de impresión de LandGEM que es el informe total de emisiones correspondientes al año base del inventario, el año 2010 y los resultados que arroja la simulación de emisiones.