

**Estudio de viabilidad para la implementación de una planta Waste to Energy en el
relleno sanitario La Pradera Municipio de Don Matías Antioquia.**

SINDY JOHANNA CARDONA BARRIENTOS

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE PRODUCCIÓN Y DISEÑO
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN
MEDELLÍN – ANTIOQUIA**

2022

**Estudio de viabilidad para la implementación de una planta Waste to Energy en el
relleno sanitario La Pradera Municipio de Don Matías Antioquia.**

SINDY JOHANNA CARDONA BARRIENTOS

Proyecto de grado para optar por el título profesional en Ingeniería
Industrial

Asesor

SANTIAGO VASQUEZ CARMONA

Docente de cátedra

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE PRODUCCIÓN Y DISEÑO

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

2022

CONTENIDO

pág.

CONTENIDO	3
INDICE DE ILUSTRACIONES	5
INDICE DE TABLAS	6
ANEXOS	7
GLOSARIO	8
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2.2 ÁRBOL DE PROBLEMA	22
2.3 ANTECEDENTES	22
2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
3. OBJETIVOS	28
3.1 OBJETIVO GENERAL	28
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3.3 ACTIVIDADES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	29
4. JUSTIFICACIÓN	30
5. MARCO DE REFERENCIA	32
5.1 MARCO CONTEXTUAL	32
5.1.1 Colombia, contexto geográfico y demográfico.	32
5.1.1.1 Sectores económicos en Colombia.	33
5.1.2 Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá	34
5.1.2.1 Medellín.	34
5.1.2.2 Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	35
5.1.2.3 Geografía y demografía del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	35
5.2 MARCO TEÓRICO: CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	38
5.2.1 Residuos Sólidos Urbanos.	40
5.2.1.1 Definición de Residuos Sólidos Urbanos.	40
5.2.1.2 Clasificación de Residuos.	40
5.2.1.3 Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos.	43
5.2.2 Disposición de RSU en Colombia.	46
5.2.2.1 Sistema de disposición final.	50

5.2.2.2	Generación de RSU en el Área metropolitana	52
5.2.2.3	Impactos y efectos.	53
5.2.3	Marco Legal.	54
5.2.3.1	Marco Legal Gestión de RSU	55
5.2.3.2	Otra normatividad.	57
5.2.4	Aprovechamiento de RSU en Colombia.	59
5.2.4.1	Formas de aprovechamiento de RSU.	61
5.2.4.2	Cifras de aprovechamiento de RSU.	63
5.2.5	Waste to Energy.	63
5.2.5.1	Definición de Waste to Energy.	64
5.2.5.2	Contexto mundial.	74
5.2.5.3	Valorización energética de RSU en Colombia.	77
5.2.5.4	Equipo y maquinaria.	80
5.2.5.5	Locación y condiciones para su implementación.	81
5.2.6	Evaluación del proyecto	83
5.2.6.1	Estudio de Mercado	85
5.2.6.2	Estudio Técnico	88
5.2.6.3	Estudio Legal	90
5.2.6.4	Estudio Financiero	94
5.2.6.5	Estudio Ambiental	104
6.	DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR	105
6.1	ETAPAS DEL PROYECTO	105
6.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE METODOLÓGICO	111
6.2.1	Tipos de Investigación según el alcance.	111
6.2.2	Tipos de Investigación según el enfoque.	111
7.	RECURSOS DEL PROYECTO	112
8.	RESULTADOS	113
8.1	RESULTADOS OBJETIVO 1	113
8.2	RESULTADOS OBJETIVO 2	120
8.3	RESULTADOS OBJETIVO 3	122
9.	CONCLUSIONES	135
10.	REFERENCIAS	137
11.	BIBLIOGRAFIA	150
12.	ANEXOS	152

INDICE DE ILUSTRACIONES

pág

Figura 1. Serie histórica 2010-2020 Para las 8 ciudades con mayor población del país. _____	15
Figura 2. Serie histórica 2010 – 2020 Para las 7 ciudades capitales con menor población. _____	16
Figura 3. Caracterización de los desechos, contexto mundial- Colombia- Antioquia- Medellín- Área metropolitana. _____	19
Figura 4. Indicadores línea base por programa. PGIRS regional 2017-2030. _____	20
Figura 5. Modelo de actuación disperso - número de proyectos Ejecutados por categorías 2005 – 2017. _____	21
Figura 6. Categorías de análisis _____	38
Figura 7. ¿Dónde se generan los residuos? _____	41
Figura 8. Código de colores para la separación de Residuos a nivel nacional. _____	45
Figura 9. Disposición de los residuos sólidos en Colombia (Mapa). _____	48
Figura 10. Disposición de los residuos sólidos en Colombia (Por departamentos) _____	49
Figura 11. Gestión diferenciada entre los residuos aprovechables y las basuras. _____	60
Figura 12. Características fisicoquímicas de los residuos sólidos _____	65
Figura 13. Procesos de valorización energética de residuos _____	69
Figura 14. Diagrama de flujo básico del proceso de incineración de residuos _____	71
Figura 15. Esquema básico pirolisis _____	72
Figura 16. Diagrama de flujo básico del proceso de gasificación de residuos _____	73
Figura 17. Apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología Waste to energy. _____	75
Figura 18. Tecnologías Modernas para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. _____	77
Figura 19. Esquema de una planta de tratamiento de residuos para obtención de energía eléctrica _____	80
Figura 20. Descripción funcionamiento Plantas de Recuperación de RSU _____	81
Figura 21. Estudio de viabilidad económica _____	84
Figura 22. Establecimiento de la viabilidad de la idea. _____	84
Figura 23. Entornos legales _____	90
Figura 24. Etapas de madurez comercial de las tecnologías de valorización _____	94
Figura 25. Etapas de desarrollo del proyecto _____	105
Figura 26. Zona de pesaje y arco de detección de materiales radiactivos, Foso y Puente grúa-pulpo _____	115
Figura 27. Equipos con parrillas móviles de rodillos y equipo de lecho fluidizado _____	115
Figura 28. Ciclo Rankine simple y diagrama T-s _____	117
Figura 29. Sistema semiseco de tratamiento de gases _____	118
Figura 30. Relleno sanitario La Pradera _____	119
Figura 31. Cálculo de áreas - Plantas de biogás _____	119
Figura 32. Rango de edad de los encuestados _____	123
Figura 33. Nivel académico de los encuestados _____	124
Figura 34. Percepción concepto de RSU _____	124
Figura 35. Aplicación de las formas de aprovechamiento de Rsu _____	125
Figura 36. Percepción de las técnicas de aprovechamiento RSU _____	126
Figura 37. Percepción Energías renovables. _____	127

INDICE DE TABLAS

pág.

<i>Tabla 1. Disposición final a nivel departamento.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario La Pradera hasta el 2004.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Cantidad de residuos recolectados para ser aprovechados.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Cuadro de causas – efectos.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5. Actividades para el cumplimiento de los objetivos.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6. Extensión territorial municipios del Valle de Aburrá.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 7. Porcentaje de reporte de la información por departamento 2018-2020.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8. Cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario La Pradera.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9. Comparación entre las tres tecnologías de Termovalorización.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 10. Situación de la incineración de RSU en el mundo.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 11. Cuantificación de RSU en San Andrés Isla.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 12. Comparación de alternativas (1000 tpd) (Para TIR=10% a.a. y precio de venta de energía eléctrica de US \$63 MWh.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 13. Distribución de los costos de capital.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 14. Modelo para estimar costos e ingresos.</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 15. Proyección de recursos.</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 17. Poder calorífico superior de los RSU.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 18. Presupuesto del proyecto.</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 19. Flujo de caja del proyecto.</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 20. Inversión planta argentina.</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 21. Estado de resultados.</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 22. Costos de inversión.</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 23. Flujo de caja del proyecto.</i>	<i>133</i>

ANEXOS

pág.

<i>Anexo a. Patentes plantas de transformación de Residuos sólidos.....</i>	<i>152</i>
<i>Anexo b. Encuesta de mercadeo.....</i>	<i>153</i>
<i>Anexo c. Respuestas Encuestas de percepción WtE</i>	<i>156</i>

GLOSARIO

ÁREA METROPOL: Área metropolitana valle del Aburrá

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

BASURA: Residuos desechados y otros desperdicios.

BASURERO: Sitio o terreno donde se disponen residuos sólidos, sin que se adopten medidas de protección del medio ambiente.

BIOGÁS: El conjunto de gases generados por la descomposición microbiológica de la materia orgánica.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS: Estudio y determinación de las propiedades de los residuos de un emplazamiento.

CENTRO DE ACOPIO: Lugar destinado a la recuperación y el almacenaje de materiales reciclables.

CENTRO DE DEPÓSITO COMUNITARIO: Son las áreas designadas para que los ciudadanos de forma voluntaria y sin remuneración económica dispongan adecuadamente de los materiales reciclables tales como: vidrio, plástico, aluminio y papel periódico.

CENTRO DE TRATAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS: Lugar donde los residuos se clasifican para su reciclaje, compostaje y eliminación a vertedero.

COMERCIALIZACIÓN: Operación de venta o transferencia de subproductos y materias o sustancias recuperadas para incorporarlas al proceso productivo.

COMPOST O ABONO ORGÁNICO: Es el producto resultante del proceso de compostaje.

COMPOSTAJE: Es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DNP: Departamento nacional de planeación

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS: Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS: El conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

INCINERACIÓN DE RESIDUOS: Proceso de combustión controlada que transforma la fracción orgánica de los residuos sólidos en materiales inertes (cenizas) y gases. No es un sistema de eliminación total, pues genera cenizas, escorias y gases, pero supone una importante reducción de peso y volumen de los residuos originales

LIXIVIADOS: Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

METANO: CH₄. Componente, entre otros, del gas natural y del biogás. El gas natural es una de las fuentes fósiles de energía. El metano se forma en procesos de degradación anaeróbica, (en pantanos, en los rumiantes y en procesos xv de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales). La emisión creciente de metano es una amenaza para el clima. El metano es junto con el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, el principal causante del efecto invernadero.

PGIRS-R: Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS.

PIGECA: Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS: Conjunto de instalaciones, operaciones, procesos o técnicas encaminadas a la eliminación, la disminución de la concentración o el volumen de los residuos sólidos o basuras, o su conversión en formas más estables.

POMCA: Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá.

RECOLECCIÓN: Es la acción consistente en retirar los residuos hospitalarios y similares del lugar de almacenamiento ubicado en las instalaciones del generador.

RELLENO SANITARIO: Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.

RSU: Residuos sólidos urbanos.

RESIDUO SÓLIDO O DESECHO: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

RESIDUO SÓLIDO APROVECHABLE: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

RESIDUO SÓLIDO NO APROVECHABLE: Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

SUI: Sistema Único de Información.

TRATAMIENTO: es el sistema oficial del sector de servicios públicos domiciliarios del país que recoge, almacena, procesa y publica información reportada por parte de las empresas prestadoras y entidades territoriales.

WTE: Waste To Energy.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento dado a los residuos a nivel mundial es similar y se da a través de los vertederos o rellenos sanitarios, en los que se vierten los desechos generados por las comunidades. Considerando el crecimiento de la población y el aumento masificado del consumismo, en su mayoría de productos no biodegradables, las grandes ciudades se han visto en la obligación de buscar alternativas que permitan mitigar no solo el impacto social, sino también, el impacto ambiental y económico que esta situación genera.

Ante esta situación, surgen estrategias como la implementación de WtE (Waste to Energy), en donde a partir de la clasificación de los residuos sólidos y la combustión controlada de estos, se generan gases y energía, convirtiendo la basura en algo aprovechable y rentable, pero principalmente, mitigando el impacto ambiental que estos desechos sin tratamiento causan al entorno en el que están.

Hoy en día, se puede evidenciar cómo los países del primer mundo ya implementan a gran escala esta alternativa, creando con este proceso elementos como: biogás, energía eléctrica, energía térmica y biometano. Partiendo de esto y considerando que es una problemática que también afronta todo el país, se hace necesario buscar enfoques que a nivel local permitan dar solución a medio y largo plazo. Para ello se implementa el estudio de la viabilidad que este tipo de proyectos podría tener en ciudades como Medellín y el Valle de Aburrá, considerando aspectos sociales, geográficos, legales y económicos.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, las principales ciudades como Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla se han convertido en foco de recolección de residuos sólidos, según lo manifiesta el Ministerio del Medio Ambiente, esto, a raíz del nivel poblacional y el consumismo al que hoy en día nos enfrentamos en estas localidades. (S.S.P.D. 2021).

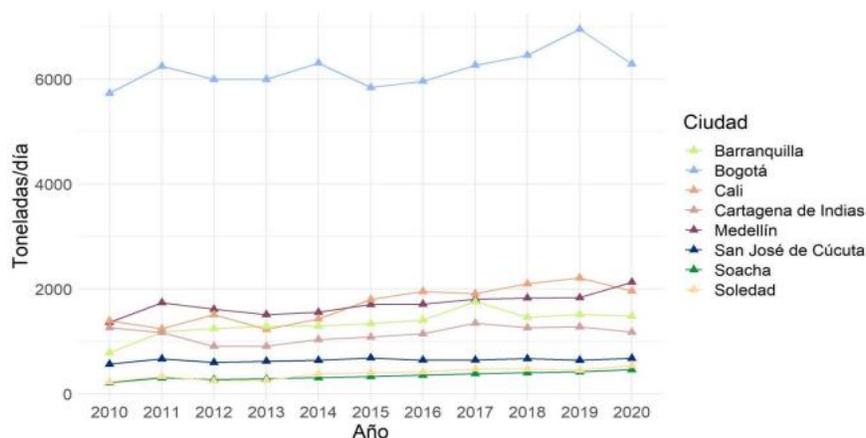
Considerando lo anterior, se ha identificado que se generan aproximadamente 32.580,96 toneladas de residuos al día que son llevados a los vertederos dispuestos en el país, de los que tan sólo un 17% es reciclado y aprovechado para otras actividades y un 65% corresponde a residuos sólidos orgánicos, situación que ha generado gran preocupación dentro de las entidades ambientales, quienes proyectan la vida útil de los vertederos dispuestos en el país para (5) años en promedio , debido a que se sobrepasará la capacidad de estos considerando las cantidades desorbitadas de desechos generados cada día. (Rivera Loaiza, et al 2021). Esta situación trae consigo no sólo problemas ambientales por la generación de gases contaminantes, la limitación y la sobreocupación de espacio físico para verter los desechos y el no aprovechamiento de la biomasa, sino que también genera crisis sociales, debido a que afecta a las comunidades que viven en las inmediaciones de estos vertederos.

Otra situación que se suma a la problemática de la mala disposición de los residuos sólidos y el sobreocupación de los vertederos en Colombia, ha sido sin duda la falta

de vigilancia y colaboración de entes gubernamentales en la implementación de proyectos que permitan mitigar estos impactos negativos en el ambiente y la sociedad, además de la carencia de vigilancia permanente en los procesos de disposición de los residuos en los vertederos y si bien es una situación que está en el radar de la Superintendencia de Servicios Públicos, entidad encargada de vigilar los rellenos sanitarios en Colombia, esta misma acepta que el tema presupuestal y de asignación de recursos, ha impedido tener una logística más impactante para dicho proceso. (Semana, 2017).

Analizando un panorama de la situación a nivel nacional, es posible identificar en qué lugar se encuentra la Ciudad de Medellín y su área metropolitana en este aspecto. La Superservicios sugiere en sus estudios que en el año 2020 en total se generaron y vertieron 32.580,96 Ton/día de residuos sólidos, manifestando que “Del total de toneladas diarias dispuestas el 45,23% corresponde a las 8 ciudades con mayor población: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, San José de Cúcuta, Soacha y Soledad; en la Figura 1, se observa el comportamiento histórico para estas ciudades.” (S.S.P.D. 2021. p16)

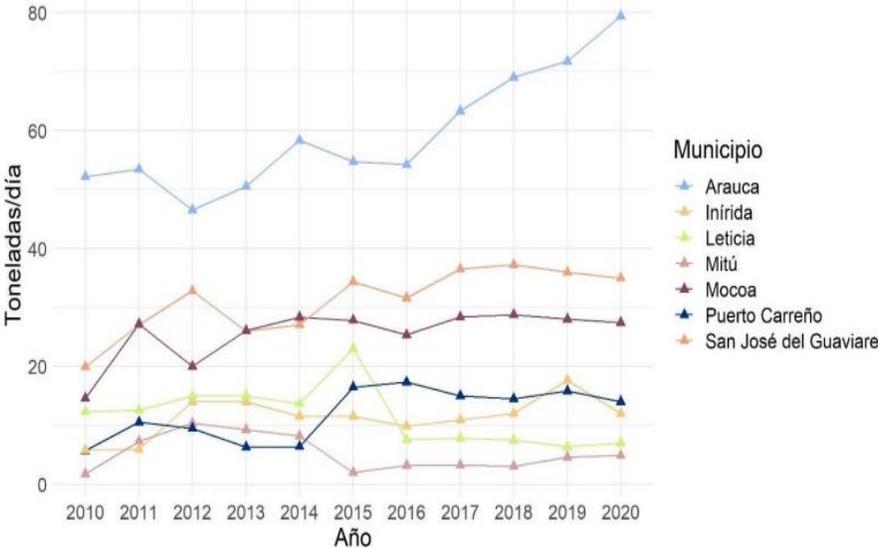
Figura 1. Serie histórica 2010-2020 Para las 8 ciudades con mayor población del país.



Fuente: Informes de disposición final SSPD. Base de disposición final 2020. Cálculos SSPD

Respecto a las ciudades con menor cantidad de población como Mitú, Puerto Carreño, Inírida, Leticia, Mocoa, San José del Guaviare y Arauca, estas disponen el 0,55% restante (179,76 Ton/día) del total de residuos sólidos dispuestos en el país. La Ilustración 2, relaciona el comportamiento de estas ciudades en relación con la cantidad de desechos generados. (S.S.P.D. 2021).

Figura 2. Serie histórica 2010 – 2020 Para las 7 ciudades capitales con menor población.



Fuente: Informes de disposición final SSPD. Base de disposición final 2020. Cálculos SSPD.

Una vez revisadas las estadísticas ofrecidas por el Informe de disposición final SSPD, se puede determinar que Antioquia sigue siendo después de Bogotá DC, el principal productor de residuos sólidos en Colombia, con un promedio de 4.421,48 toneladas por día, cifra actualizada para el 2020. En comparación del año 2019, en donde se generaron en promedio 3.852,87 toneladas por día, podemos evidenciar un aumento de 568,61 toneladas de residuos por día, esto al finalizar el mes de diciembre de 2020 y sin tener las cifras del año 2021 en donde posiblemente se hayan presentado incrementos considerables a razón de la pandemia por Covid-19

y la cuarentena. A continuación, se relaciona la disposición de residuos por departamento en relación con el año 2019 y 2020. (S.S.P.D. 2021)

Tabla 1. Disposición final a nivel departamento.

DEPARTAMENTO	PROMEDIO TON/DIA 2020	PROMEDIO TON/DIA 2019
BOGOTÁ, D.C.	6.287,85	6.952,49
ANTIOQUIA	4.421,48	3.852,87
VALLE DEL CAUCA	3.380,78	3.846,24
ATLÁNTICO	2.580,50	2.511,09
CUNDINAMARCA	1.885,08	1.761,27
BOLÍVAR	1.716,53	1.797,50
SANTANDER	1.416,32	1.406,74
NORTE DE SANTANDER	1.049,12	977,43
MAGDALENA	891,83	826,92
TOLIMA	806,71	762,62
CÓRDOBA	792,64	673,77
CESAR	769,96	721,36
RISARALDA	756,56	705,04
NARIÑO	679,61	676,14
META	669,80	615,27
CALDAS	659,73	650,84
HUILA	556,14	433,27
SUCRE	497,98	406,22
BOYACÁ	489,93	541,94
CAUCA	431,46	395,30
LA GUAJIRA	409,18	389,15
QUINDÍO	385,10	354,38
CASANARE	225,11	218,90
CHOCÓ	202,02	169,35
CAQUETÁ	174,55	185,55
ARAUCA	146,88	132,87
PUTUMAYO	134,72	150,00
ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	66,28	74,63
GUAVIARE	40,58	41,06
VICHADA	23,10	24,82
GUAINÍA	19,99	25,63
AMAZONAS	7,72	7,34
VAUPÉS	5,74	5,55

Fuente: SUI. Sistema de gestión documental Orfeo, visitas, cálculos SSPD

Centrando nuevamente la situación en la ciudad de Medellín y el área metropolitana, los modernos hábitos de consumo y los actuales estilos de vida de los consumidores están desencadenando un gran problema de desechos y desperdicios. Se ha sobrelenado la capacidad de los vertederos o rellenos sanitarios locales. Esta situación generalizada está teniendo un impacto devastador en los ecosistemas,

afectando no solo la calidad del aire sino desencadenando afectaciones de salud en la población (Centeno, 2019).

Para el valle de Aburrá, estuvo en funcionamiento el relleno sanitario “Cerro la Vergüenza” en Moravia desde 1972 hasta 1984, el relleno Curva de Rodas que funcionó desde 1984 hasta el año 2003 y que actualmente está en proceso de postclausura según informa Emvarias buscando estabilizar sus suelos y volverlos suelos productivos y el relleno de La Pradera ubicado en el municipio de Don Matías que entró en operación el 6 de junio de 2003 y está actualmente en funcionamiento. Actualmente, Epm se encuentra adelantando labores para la gestión del licenciamiento del Vaso La piñuela, que se proyecta inicie su funcionamiento en el año 2023, con el fin de habilitar la vida útil de éste hasta por lo menos el 2030. (Emvarias 2017; Área metropol 2017). En la actualidad, como hace referencia Emvarias, en la ciudad de Medellín se recolectan en promedio de 1.900 a 2.100 toneladas de desechos por día, a través de las 198 rutas que funcionan diariamente. En la tabla que se relaciona a continuación, se evidencia la disposición de los residuos que llegaron al relleno de La pradera. (Emvarias, 2017)

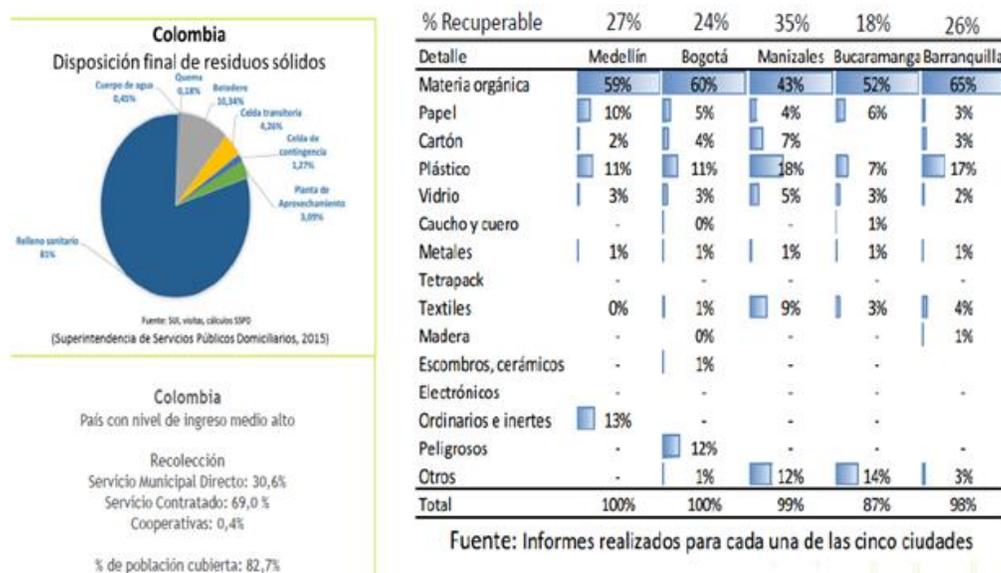
Tabla 2. Cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario La Pradera hasta el 2004.

MUNICIPIO	DISPOSICIÓN (Ton/día)	%
Medellín	1,254	66.16
Itagüí	137	7.23
Bello	143	7.54
Envigado	130	6.86
Sabaneta	47	2.48
Caldas	27	1.42
Rionegro	51	2.69
Copacabana	27	1.42
Barbosa	19	1.00
La Estrella	25	1.32
Girardota	21	1.11
El retiro	7	0.37
Guarne	6	0.32
Gómez Plata	0.6	0.03
Heliconia	0.6	0.03
Yolombó	0.2	0.01
Guadalupe	0.01	0.00
TOTAL	1,895	100.00

Fuente: Empresas Varias de Medellín E.S.P.-Disposición Final

Es posible identificar qué factores como el crecimiento poblacional, el consumismo desmedido y las malas prácticas ambientales, están conllevando a una crisis ambiental compleja para los próximos años, considerando que cada vez incrementa la cantidad de residuos y que los programas de aprovechamiento como el reciclaje no tienen mayor acogida en la cultura de los ciudadanos. A continuación, se relaciona una caracterización de la disposición final de los residuos sólidos en el Área metropolitana, con el fin de dimensionar los impactos que estos tienen en el ambiente. (Rivera Loaiza, et al 2021)

Figura 3. Caracterización de los desechos, contexto mundial- Colombia- Antioquia- Medellín- Área metropolitana.

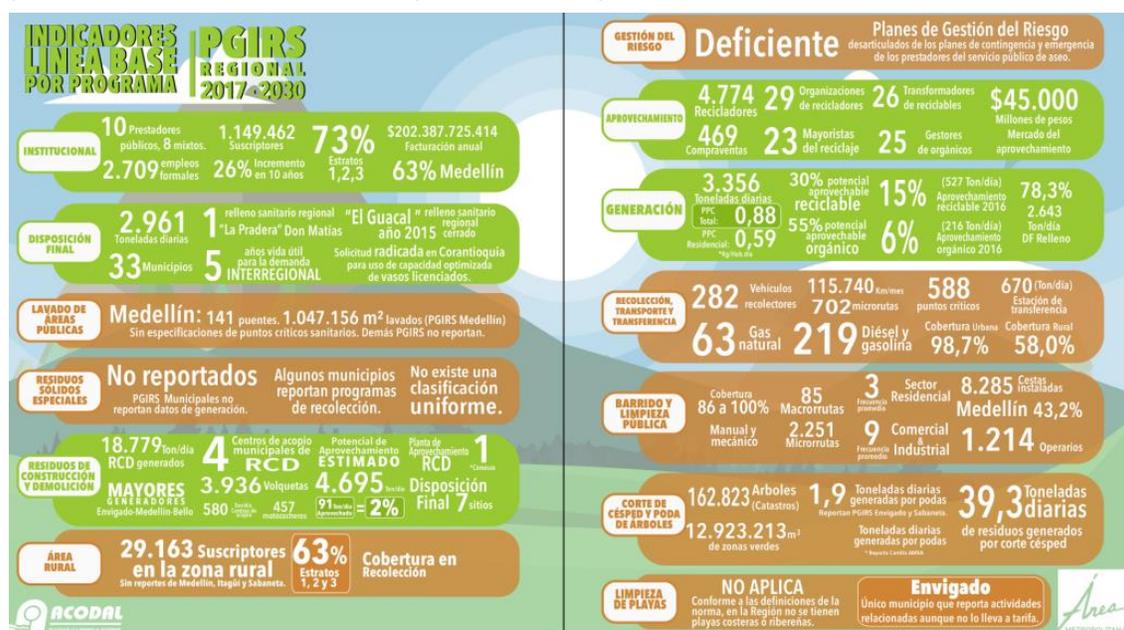


Fuente: Informes realizados para cada una de las ciudades por Andrés, 2014

La generación de residuos sólidos en Colombia tiene una tendencia creciente, por lo que se debe buscar una alternativa que permita dar un correcto manejo de estos y su máximo aprovechamiento siempre que sea económicamente viable o genere algún tipo de beneficio ambiental o social a la comunidad y entes gubernamentales, considerando que la disposición final de los residuos depende de si son

aprovechables o no. Para ello se realiza en una caracterización de estos, con el fin de identificar de qué forma se pueden disponer sea como residuos aprovechables o no aprovechables. Según el PGIRS-R, 2017-2030 en cuanto el aprovechamiento de los residuos generados y dispuestos en los vertederos del valle de Aburrá en general se tiene tan sólo un 15% de aprovechamiento en residuos reciclables al 2016 proyectado para el 2030 a este mismo porcentaje, y en cuanto a residuos orgánicos solo son aprovechados el 2% (PGIRS-R, 2017)

Figura 4. Indicadores línea base por programa. PGIRS regional 2017-2030.

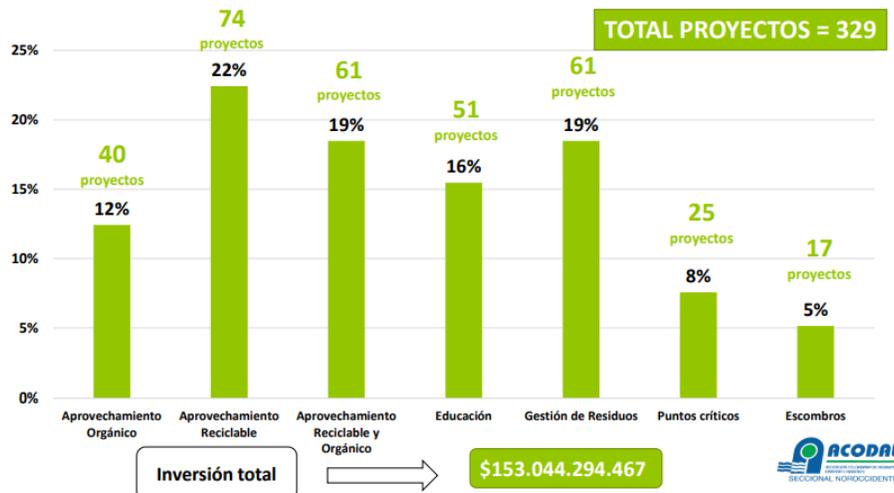


Fuente: Actualización del pgirs regional del Área metropolitana del valle de Aburrá 2017-2030

Considerando todos los aspectos negativos que implica el aumento en la generación de residuos en Colombia, los entes gubernamentales han implementado estrategias que buscan contrarrestar estas consecuencias, sin embargo, es más que evidente que a pesar de la implementación de proyectos de aprovechamiento de recursos, las cifras siguen siendo demasiado bajas, esto basados en la ejecución de estos en

el PGIRS regional del Área metropolitana del valle de Aburrá 2005-2017 como se relaciona a continuación:

Figura 5. Modelo de actuación disperso - número de proyectos Ejecutados por categorías 2005 – 2017.



Fuente: Actualización del pgirs regional del Área metropolitana del valle de Aburrá 2017-2030

Para el área metropolitana del valle de Aburrá, se realiza la relación de las cifras de aprovechamiento, esto considerando que sólo en Medellín se recolectan de 1900 a 200 toneladas de residuos al día.

Tabla 3. Cantidad de residuos recolectados para ser aprovechados.

MUNICIPIO	CANTIDAD TOTAL DE RESIDUOS RECICLADOS, LLEVADOS A ESCOMBRERAS E INCINERADOS (Ton/mes)		
	RECICLADOS	DEPOSITADOS EN ESCOMBRERAS	INCINERADOS
Caldas	13.19	106.80	0.10
La Estrella	40.74	73.48	2.08
Envigado	62.00	831.00	3.70
Sabaneta	16.00	63.67	0.32
Itagüi	530.00	936.00	3.82
Medellín	7,750.00	1,542.00	31.86
Bello	535.77	946.19	2.63
Copacabana	26.71	26.00	0.13
Girardota	78.00	70.66	0.28
Barbosa	68.60	68.25	-
Total	9,121.01	4,664.05	44.92

Fuente: PGIRS municipales

2.2 ÁRBOL DE PROBLEMA

Tabla 4. Cuadro de causas – efectos.

POSIBLES CAUSAS	SITUACIÓN ACTUAL	EFFECTOS	PREGUNTAS	OBJETIVOS
Poca o nula gestión integral de residuos sólidos	Desaprovechamiento económico de los residuos sólidos urbanos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera	Inestabilidad del terreno donde son dispuestos los residuos	¿Cuáles son los factores económicos que impactan la viabilidad de la implementación efectiva de una Planta Waste to energy, para la de transformación de los RSU en energía eléctrica en el relleno sanitario La Pradera?	General: <ul style="list-style-type: none"> Realizar el estudio de viabilidad para la implementación de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos (Waste to Energy) dispuestos en el relleno sanitario La Pradera Municipio de Don Matías Antioquia Objetivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> Describir el proceso técnico de generación de energía a través de plantas WtE, para contextualizar e identificar oportunidades de implementación Identificar las limitaciones actuales existentes para la implementación de una planta Waste to Energy en Colombia. Estimar los factores que impactan la viabilidad para la implementación de una planta WtE destinada al aprovechamiento energético de los RSU dispuestos en el relleno sanitario La Pradera.
Malas practicas de reciclaje y clasificación de residuos		Aumento de la producción de lixiviados y gases contaminantes.		
Poca conciencia ambiental		Crisis sociales por la disposición de los residuos en los vasos		
Ausencia de políticas que regulen la generación de residuos por parte de la población.		Elevados costos operacionales para la manipulación y transporte de los residuos		
Falta de capacitación e implementación de estrategias Gubernamentales en temas ambientales		Sobrecostos en procesos de clasificación y manejo de los residuos	¿Cuáles son los beneficios que se obtienen con la implementación de una planta WtE en Colombia?	
Tranferencia tecnológica		Mayor requerimiento de espacios para la disposición de los residuos		
Limitación en la adjudicación de recursos financieros para la realización de campañas de concientización y proyectos de disposición y aprovechamiento de RSU		Pérdidas económicas al desperdiciar material reutilizable		
		Contaminación del suelo, agua, aire y afectación de la fauna y la flora.		
		Enfermedades de origen respiratorio		

Fuente: Elaboración propia

2.3 ANTECEDENTES

Cabe mencionar que las características culturales de nuestra población han impactado sobre el incremento de los problemas ambientales, lo que a su vez conlleva a afectaciones de salud de los ciudadanos y afectan directamente la forma

de vida cotidiana. Dichas afectaciones impactan no sólo la salud física sino también la mental, debido a la poca importancia que en ocasiones se le presta a esta última y específicamente en las relacionadas con los factores ambientales.

Por otro lado, uno de los problemas ambientales, es el relacionado con la disposición de los residuos, en ese sentido se están desechando residuos que pueden servir para generar nuevos insumos o implementos para el uso diario de la ciudadanía. De igual manera, se han evidenciado las afectaciones que tiene la contaminación en la fauna y flora, en el sentido en que estos residuos también generan grandes problemas a estos entornos, ya que generan contaminación a los suelos, a los ríos, a los aires etc. Ante las pocas alternativas o soluciones frente a esta problemática y sus consecuencias, la forma de confrontación actual en nuestro país son los rellenos sanitarios, los cuales se encuentran colapsados y limitados en su capacidad para disponer de los residuos, por lo que en muchas ocasiones terminan contaminados en las fuentes hídricas o los espacios no dispuestos para residuos, generando afectaciones a esos lugares y su entorno.

En el artículo realizado por (López & Franco, 2021), denominada “gestión de residuos sólidos urbanos: un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia”. Actualmente el mundo enfrenta un problema grave conectado con la gestión de residuos. Mientras el relleno sanitario es todavía un método muy utilizado en países en desarrollo como Colombia, en este trabajo se exploran otros métodos cuyos resultados son exitosos desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, pero que también tienen en cuenta la generación y aprovechamiento de los recursos, como son: el compostaje, la incineración, la pirolisis y la gasificación.

En el artículo mencionado, se muestra se muestra la problemática de la generación de residuos y nos expone que el método más usado en países subdesarrollados como lo es Colombia es el método del relleno sanitario, además de que expone las problemáticas que existen en el país, en lo asociado a la reutilización y aprovechamiento de los residuos sólidos. Por ende, este artículo es de suma importancia ya que se relacionado directamente con nuestro trabajo buscando plantear diferentes soluciones y métodos para la reducción de los rellenos sanitarios y el aprovechamiento de residuos. Adicionalmente expone temas importantes como las leyes y normativas que han reglamentado la adecuación de los rellenos sanitarios y la problemática de que el territorio nacional no cuenta con los recursos tecnológicos para realizar el aprovechamiento de los residuos sólidos. Adicionalmente, el artículo evidencia la problemática que se tiene con el gobierno al no contar con políticas de economía circular en la que se visualicen los desechos como insumo o materia prima, a su vez que no promueven políticas públicas para la formulación e implementación de una adecuada gestión de residuos, lo que genera graves problemas e impacto para el medio ambiente, proyectando que a futuro sea una problemática incontrolable por el crecimiento demográfico y poblacional exponencial, por lo que se espera que los residuos mantengas esta misma relación. Allí también se expone una explicación del proceso de incineración y expresa el aprovechamiento que se puede tener por este medio.

Por otro lado, en la investigación de (Morales & Pongutá, 2020), denominada “Selección de una alternativa valorización energética de residuos sólidos para la ciudad de Bogotá, utilizando el análisis jerárquico multicriterio, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la ciudad de Bogotá”, evidencia un crecimiento sostenido durante las dos últimas décadas, estudios locales refieren que este aumento se encuentra directamente relacionado con el crecimiento poblacional de la ciudad, por lo tanto, en el futuro próximo la expectativa es continuar observando incrementos en la generación de RSU.

Este proyecto se enfoca en la problemática de los residuos sólidos generados en la ciudad de Bogotá, la cual no tiene alternativas aplicadas para el manejo de residuos y su única opción es la de utilizar los rellenos sanitarios, que para este caso es solo uno, que a su vez se encuentra limitado en capacidad de espacio por el alto crecimiento de la población, lo que obliga a buscar mejores alternativas para el futuro cercano. Allí también se expresa que aproximadamente a diario se generan 5724 toneladas de basura, cifra muy alta que aporta al llenado rápidamente de los vertederos. Dentro de las alternativas planteadas al interior del trabajo se encuentra la alternativa de la incineración de basuras para el aprovechamiento de energías, ya que se ve con buenos ojos esta opción con el fin de traer beneficios no solo en temas relacionados a el aprovechamiento sino también, ayuda a el fortalecimiento de modelos económicos que ayudan al crecimiento de la energía circular.

La investigación realizada para (UPME, 2018), llamada “Valorización energética de residuos: proyecto WTE Colombia”, es un estudio que se realiza para la UPME, cuyo objeto es “desarrollar un modelo que permita establecer la viabilidad técnica, ambiental, financiera y económica de proyectos replicables en diferentes sectores, municipios, regiones, con diversos tipos de residuos, que permita:

- a) generar energía a partir de residuos sólidos urbanos (WTE) y,
- b) generar biogás “.

Se presenta una propuesta en la que se plantea una priorización de un sitio que aglomere una serie de municipios, o región, en la que se pueda llevar a cabo un proyecto de valorización de residuos con fines energéticos (WTE). Este trabajo tiene ejes fundamentales que permiten tener mayor claridad de cómo se pueden reutilizar estos desechos los cuales son fundamentales para el crecimiento de una población también habla de la viabilidad de aplicar estrategias de mejora de reutilización de

basuras y de creación de energía por medio de estas, se realizan estudios que permitan tener conocimiento de los lugares donde se pueden ejecutar y como esto de una u otra manera puede ayudar a los diferentes municipios, realizando análisis de cuáles municipios son los mayores generadores de basuras y en qué lugar tendría más impacto una posible aplicación de WTE.

Los anteriores datos son útiles para realizar un mejor análisis ya que podemos asemejarlos con los problemas que se acrecienta la ciudad de Medellín y el área metropolitana y además nos sirve para analizar y realizar un análisis para la aplicación de una planta WTE en esta ciudad, con el fin de poder reducir la mayor cantidad de basuras y residuos sólidos, y poder darle una ayuda a la ciudad con la energía creada a partir de estos aprovechamientos, así mismo podemos reducir los problemas que tienen los rellenos sanitarios ya que se encuentran demasiado colapsados y llenos, en donde a un futuro no muy lejano no se va contar con un lugar para la disposición de ellos.

Otro antecedente que podemos agregar es la noticia de la primera planta de aprovechamiento de rellenos sanitarios de Colombia que se encuentra en San Andrés y Providencia. Siendo esta una planta inaugurada a finales de los años 2021 y que aún no cuenta con muchas estadísticas de lo que ha logrado hasta la fecha, sin embargo, se tienen datos del costo de su implementación, que ronda alrededor de los 24.356.000, recursos que fueron financiados entre la nación, el municipio y el departamento. Su implementación ha ayudado a atacar los problemas de contaminación y de la gran cantidad de residuos sólidos que se generan a un lugar turístico tan importante para el país como lo es San Andrés Y Providencia, residuos que son generados por la gran cantidad de turistas que llegan a esta zona en donde todo el año cuenta con una gran cantidad de personas del país y extranjeras haciendo que los residuos sólidos crezcan cada vez más. El gobernador actual de

este lugar llamado Everth Hawkins Sjogreen, grabó un video dando a conocer el lugar y lo contento que está con los avances, al estimar que se están creando 1000 kwh de energía, que a pesar de que es poco se estima que a futuro pueda ser mucho más y pueda ayudar a mejorar la energía de este lugar, además el habla de que se está dando trabajo a más de 60 familias.

2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores económicos que impactan la viabilidad de la implementación efectiva de una Planta Waste to energy, para la de transformación de los RSU en energía eléctrica en el relleno sanitario La Pradera?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio de viabilidad para la implementación de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos (Waste to Energy) dispuestos en el relleno sanitario La Pradera Municipio de Don Matías Antioquia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el proceso técnico de generación de energía a través de plantas WtE, para contextualizar e identificar oportunidades de implementación.
- Identificar las limitaciones actuales existentes para la implementación de una planta Waste to Energy en Colombia.
- Estimar los factores que impactan la viabilidad para la implementación de una planta WtE destinada al aprovechamiento energético de los RSU dispuestos en el relleno sanitario La Pradera.

3.3 ACTIVIDADES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Tabla 5. Actividades para el cumplimiento de los objetivos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS		
<p>Describir el proceso técnico de generación de energía a través de plantas WtE, para contextualizar e identificar oportunidades de implementación.</p>	<p>Identificar las limitaciones actuales existentes para la implementación de una planta Waste to Energy en Colombia.</p>	<p>Estimar los factores que impactan la viabilidad para la implementación de una planta WtE destinada al aprovechamiento energético de los RSU dispuestos en el relleno sanitario La Pradera.</p>
<p>Investigar el estado del arte del tema de estudio, el cual incluye:</p>	<p>Realizar un análisis ajustado de los aspectos políticos, económicos, sociales y tecnológicos que impactan y afectan la implementación de WtE</p>	<p>Realizar un análisis de viabilidad en el que se estudian los diferentes factores que afectan la implementación de proyecto de inversión: técnico, económico, ambiental, legal.</p>
<p>Revisión de tesis y proyectos relacionados con la generación de residuos sólidos en Colombia</p>	<p>Investigar el estado del arte del proceso de Waste to energy y la implementación de proyectos similares en Colombia</p> <p>Revisión de legislación y normativas ambientales reguladores para el tratamiento de RSU</p>	
<p>Revisión de material bibliográfico</p>	<p>Realización de encuesta de percepción de los RSU y la Termovalorización</p>	
<p>Indagar noticias sobre el tema de RSU</p>		

Fuente: Elaboración propia

4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realiza con el fin de evaluar los factores que determinan la viabilidad de la implementación de una planta de aprovechamiento de los residuos sólidos en el área metropolitana, a través de las tecnologías conocidas como Waste To Energy, el cual se centra en transformar los residuos sólidos en energía, o biocombustibles. Por tal motivo es de gran importancia conocer los beneficios que esta alternativa pueda brindar a la sociedad, y como la implementación de esta puede generar grandes impactos para la sociedad, puesto que apunta a mejorar la calidad del medio ambiente, al tener diferentes alternativas de procesamiento para la gran cantidad de desechos sólidos que se generan en la ciudad, además de tener un aprovechamiento energético que puede beneficiar a miles de personas de bajos recursos.

En Colombia no se cuentan con alternativas de este tipo, que permitan el aprovechamiento masivo de este de residuos y que a la vez impacte al medio ambiente de forma positiva. La principal alternativa está basada en llevar estos residuos a los rellenos sanitarios y disponerlos dentro de un relleno, situación que no termina siendo la óptima y que generalmente genera unos sobrecostos logísticos en su proceso de disposición final. También se debe considerar que el alto flujo y las grandes cantidades d estos residuos, limita el espacio disponible para su disposición cada vez más, por lo que, si no se hace algo a tiempo, La pradera será un relleno más que en los próximos años cerrará por falta de capacidad. Debido a esta situación, se estima que, para los próximos años en el caso de Medellín y su área metropolitana, será necesario encontrar más espacios o nuevas alternativas para poder distribuir todos estos desechos, por lo que se propone analizar la viabilidad de implementar una planta termovalorizadora de residuos sólidos urbanos en la ciudad. Implementarla, no sólo ayudaría a mitigar la problemática foco de este

proyecto, el desaprovechamiento de la cantidad desorbitante de residuos sólidos, sino también una solución indirecta para la disposición limitada de espacios para verter este material. Con ello, llegaría de la mano otras ayudas e impactos positivos para las comunidades, como es la generación de energías renovables que podrían ayudar a comunidades vulnerables, la mejora en la calidad del medio ambiente, pues la combustión y la generación de gases, se trabaja de forma controlada y regulada, lo que reduce la emisión de contaminación a la atmosfera, y finalmente, el impacto social al generar empleos y mejorar la calidad de los terrenos dispuestos como rellenos sanitarios.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO CONTEXTUAL

5.1.1 Colombia, contexto geográfico y demográfico.

Colombia es uno de los principales países de Latinoamérica con un área de 1.141.748 km², a su vez, se divide en (5) regiones: Amazonas, Orinoco, Pacífico, Caribe y Andes. De estas, las regiones Andina y Caribe son las más desarrolladas y las que contienen a las ciudades principales, entre ellas: Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Cúcuta, Pasto, Manizales, Pereira, Neiva, Ibagué y Tunja e en la costa norte a Barranquilla, Cartagena de Indias, Santa Marta, Sincelejo, Montería y Valledupar. Debido a su diversidad en fauna y flora y a su posicionamiento como el segundo país más rico en especies en el mundo, en Colombia se han destinado ciertas áreas protegidas en las que no se pueden realizar construcciones ni modificaciones a sus terrenos según lo hace saber la Embajada de Colombia. (s.f).

En total y según las cifras ofrecidas por el DANE, al 2018 Colombia cuenta con una población de 48.258.494 de los cuales el 51,2% son mujeres y el 48,8% son hombres. De la población total, el 22,6% son niños entre los 0 y 14 años, el 68,2% son personas entre los 15 y 65 años, y el 9,1% son personas de más de 65 años. El 77,1% de la población está ubicada en las cabeceras municipales, el 7,1% están ubicados en centros poblados, mientras que el 15,8% está ubicada en zona rural dispersa. Se tiene acceso a un total de 13.480.729 viviendas, de las que en promedio el 81,5% tiene acceso a los servicios básicos de agua, energía, alcantarillado, gas, representando un porcentaje del 81,6% el porcentaje de la

población que tiene acceso al servicio de recolección de basuras en el país. Además, vale la pena considerar los porcentajes discriminados por habitantes promedio por vivienda así: (1) habitante 18,5%, (2) habitantes 21,7%, 3 habitantes 23,2%, 4 habitantes 19,5% y más de 5 habitantes por vivienda 16,8%. (DANE, 2018).

5.1.1.1 Sectores económicos en Colombia.

Basados en la división económica mencionada por el Banco de la República de Colombia (s.f), los sectores económicos existentes son el primario, que incluye la producción básica, contiene las actividades en las que se realiza extracción u obtención de bienes provenientes de la naturaleza directamente. El sector secundario o sector industrial, contiene todos los procedimientos industriales y de transformación de las materias primas obtenidas del sector agrícola y finalmente el sector terciario, contiene todas las actividades de prestación de servicios o de bienes intangibles. También existe una clasificación según su actividad económica:

- Sector agropecuario
- Sector servicios
- Sector industrial
- Sector transporte
- Sector comercio
- Sector financiero
- Sector construcción
- Sector minero y energético
- Sector comunicaciones

El sector más importante en la generación de los RSU es sin duda el sector secundario, debido a que en este se realizan los procesos de transformación, producción y manufactura de los productos que llegan al mercado. Esto implica la generación de residuos no solo en el proceso de producción sino también en la etapa de posconsumo.

5.1.2 Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá

5.1.2.1 Medellín.

Medellín es la segunda ciudad más importante después de Bogotá, es la capital del departamento de Antioquia. En su territorio tiene una extensión de 105 km² de suelo urbano, 270 km² de suelo rural y 5,2 km² de suelo para expansión. Está ubicada en la cordillera central de los Andes. Tiene una población promedio de 2.533.424 habitantes con un promedio de 47% hombres y 53% mujeres siendo la segunda ciudad más poblada de Colombia.

El área urbana de Medellín se divide en 6 zonas: Nororiental, noroccidental, centro oriental, centro occidental, suroriental, sur occidental, cuenta además con 5 corregimientos: Santa Elena, San Sebastián de Palmitas, San Cristóbal, Altavista y San Antonio de Prado. Dentro de sus zonas, están clasificadas 16 comunas: Aranjuez, Belén, Buenos Aires, Castilla, Doce de Octubre, El Poblado, Guayabal, La América, La Candelaria, Laureles, Manrique, Popular, Robledo, San Javier, Santa Cruz, Villa Hermosa y finalmente, a los cuales pertenecen 249 barrios. (Medellín cómo vamos).

En cuanto a su economía, Medellín es una de las ciudades que más resalta en los aspectos industriales y comerciales, enfocado principalmente en los sectores textiles y confecciones, alimentos, salud, metalmecánicos, entre otros.

5.1.2.2 Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

El área Metropolitana del Valle de Aburrá es una subregión del departamento de Antioquia que está dada por la unión político- administrativa de 10 municipios: Medellín como municipio principal, Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La estrella y Sabaneta.

Fue creada en 1980 con el fin de mejorar y crear alianzas en aspectos económicos y desarrollo urbano de los municipios en mención. Comparten como eje estructural el cauce del Río Aburrá o Río Medellín como coloquialmente es conocido, fuente hídrica que nace en el Alto de San Miguel y desemboca sobre Río Porce. (Acodal seccional noroccidente, 2017).

5.1.2.3 Geografía y demografía del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

El valle de Aburrá está ubicado específicamente entre las coordenadas que oscilan verticalmente entre los 5° 58' 30,0" y los 6° 30' 46,8" de Latitud Norte, y horizontalmente entre los 75° 43' 15,6" y los 75° 13' 15,7" de Longitud Oeste. La longitud de su territorio promedia los 1.159 km², lo que representa un 1,8% del área

del departamento de Antioquia. (Acodal seccional noroccidente, 2017). Según cifras reportadas por el Dane y representadas a través de Medellín cómo vamos (s.f), al 2020, los municipios que componen el Valle de Aburrá suman aproximadamente 4.055.296 habitantes, de los cuales Medellín concentra al menos el 67% del total y están distribuidos así:

- Medellín: 2.533.424
- Barbosa: 54.347
- Bello: 552.154
- Caldas: 83.423
- Copacabana: 81.820
- Envigado: 242.197
- Girardota: 54.439
- Itagüí: 289.994
- La estrella: 75.517
- Sabaneta: 87.981

Respecto a la longitud de sus terrenos, los 1.159 km², Medellín ocupa por lo menos el 32% del total de km², y se distribuyen de la siguiente forma (Datos abiertos):

- Medellín: 380,64 km²
- Barbosa: 206 km²
- Bello: 149 km²
- Caldas: 133,4 km²
- Copacabana: 70 km²
- Envigado: 78,78 km²
- Girardota: 78 km²
- Itagüí: 21,09 km²

- La estrella: 35 km²
- Sabaneta: 15 km²

De estos territorios que componen el valle de Aburrá, por lo menos el 84% corresponde a la zona rural y el 16% a la zona urbana, es decir, que estos municipios contienen un porcentaje de zonas rurales que están entre los 67% y 98%. En la tabla 6 se reflejan los datos de la extensión territorial de los municipios que componen el Valle de Aburrá:

Tabla 6. Extensión territorial municipios del Valle de Aburrá.

Municipio	Extensión Área Urbana (Km ²)	Extensión Área Rural (Km ²)	Extensión Total (Km ²)	Porcentaje del Total
Barbosa	5	200	205	18
Girardota	4	78	82	7
Copacabana	5	66	71	6
Bello	20	122	142	12
Medellín	113	263	376	32
Itagüí	12	9	21	2
Envigado	14	64	78	7
Sabaneta	5	10	15	1
La Estrella	4	31	35	3
Caldas	2	132	134	12
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	184	975	1.159	100

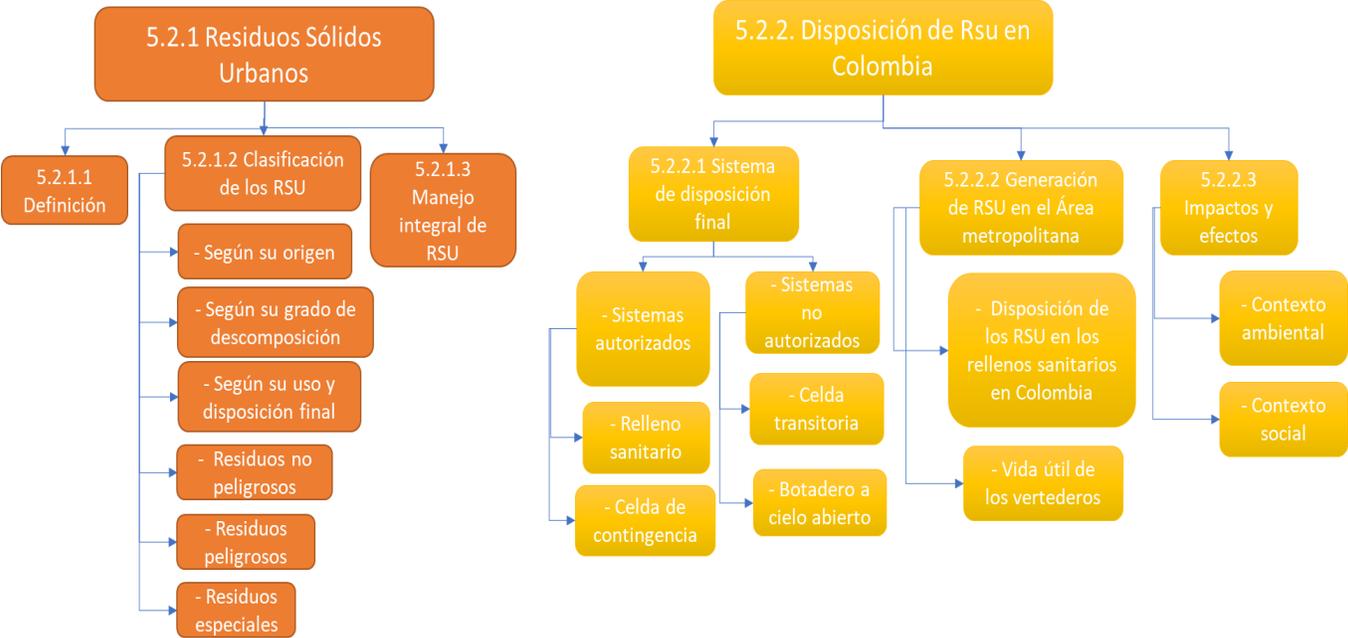
Fuente: PGIRS-R 2017-2030. Contexto ambiental regional y sociodemográfico

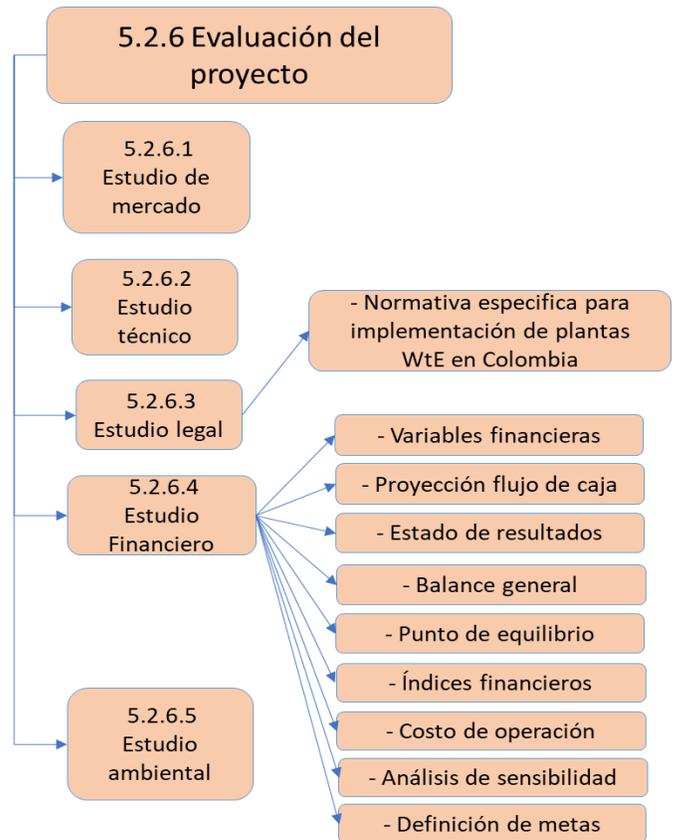
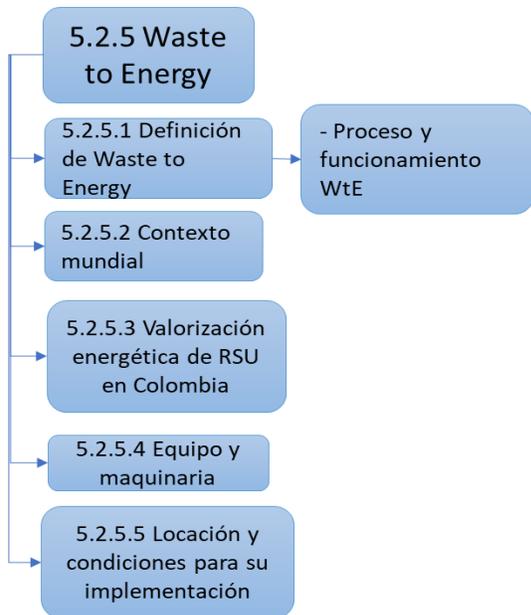
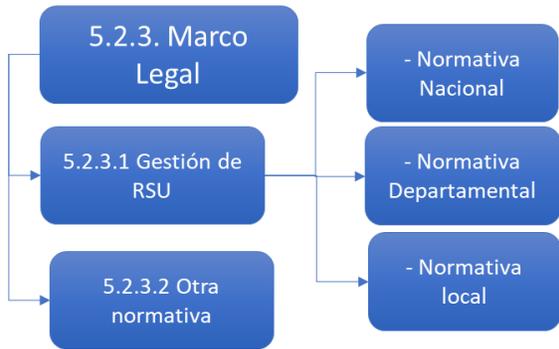
Debido al crecimiento poblacional y el crecimiento de las industrias en Medellín y sus alrededores, se ha hecho necesario implementar medidas para mitigar los impactos que estas actividades generan en el ambiente y la sociedad. Para ello, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha implementado diferentes medidas que buscan principalmente mantener la sostenibilidad y equilibrio ambiental, entre estas medidas está el plan de ordenamiento territorial, el Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire -PIGECA-, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos -PGIRS-

y el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá - Pomca -, También se ha acogido a acuerdos nacionales e internacionales que comprometen a la ciudad e implicados a realizar actividades en pro de la mejora de estos aspectos ambientales y sociales. Acuerdos como el Pacto por la Calidad del Aire, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático y el Protocolo de Kyoto, entre otros. (Medellín cómo vamos).

5.2 MARCO TEÓRICO: CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

Figura 6. Categorías de análisis





Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Residuos Sólidos Urbanos.

5.2.1.1 Definición de Residuos Sólidos Urbanos.

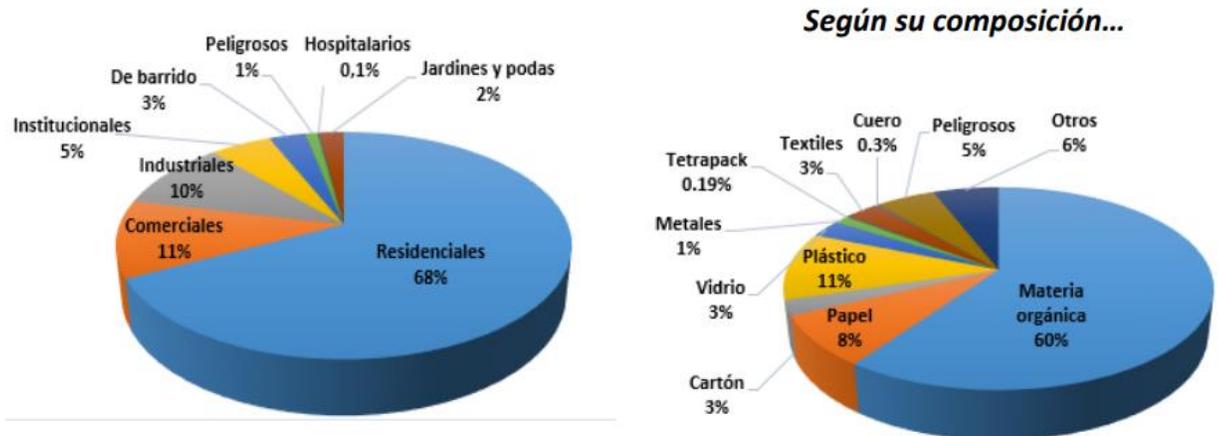
Los Residuos Sólidos Urbanos pueden ser definidos como cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas. (Decreto 4741 de 2005)

5.2.1.2 Clasificación de Residuos.

Para comprender la problemática de la generación excesiva de residuos y el bajo nivel de aprovechamiento de estos, es necesario tener presente cómo se implementa la clasificación o caracterización de estos en Colombia. Según el informe de PGIRS Regional 2017-2030, los componentes principales de dicho plan se basan en la clasificación de estos como residuos aprovechables reciclables, orgánicos biodegradables y no aprovechables, entendiendo como residuo, todo tipo de material o elemento que resulta del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, comerciales, etc. que finalmente luego de su uso, el generador abandona o desecha y es posible que sea nuevamente aprovechado o transformado de nuevo en un bien con valor económico. (Jaramillo y Zapata, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior, se puede realizar una caracterización según su origen, su grado

de descomposición, su uso o su disposición final como se relaciona en la tabla 5. Según su clasificación, estos tienen un tipo de procesamiento diferente y de esto depende el proceso a seguir con ellos. Hablando de aprovechamiento, se puede considerar el reciclaje, la reutilización, el compostaje, la generación de biogás, la lombricultura y la recuperación de energía. Para el logro de estos, es pertinente definir las características que estos residuos deben tener con el fin de que sean aplicables a alguna de las formas de aprovechamiento disponibles. (Rodríguez, 2015).

Figura 7. ¿Dónde se generan los residuos?



Fuente: Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Área Metropolitana Valle de Aburrá

Hay diferentes maneras de clasificar los residuos, y estos varían según las necesidades o el enfoque que se le dé al proceso. Cuando se trata de clasificarlos con base al origen de generación, podemos definir origen doméstico, comercial, institucional, construcción y demolición, servicios municipales, zonas de plantas de tratamiento, industriales y agrícolas. (Contreras, 2015).

➤ **Clasificación según su grado de descomposición.** En la clasificación según el grado de descomposición, existen dos categorías, entre las cuales están los biodegradables, en donde los microorganismos transforman los residuos en micronutrientes (el papel, los residuos orgánicos y el cartón) y los no biodegradables, en donde los microorganismos descomponedores no pueden realizar dicha transformación (plásticos derivados del petróleo, latas, chatarra, vidrio y otros). (Rodríguez, 2015)

➤ **Clasificación Según su uso y disposición final.** Considerando el uso de los residuos, estos se pueden clasificar en residuos reciclajes y residuos orgánicos. Según su disposición final, en desechos, es decir residuos que no pueden ser reutilizados o aprovechados y estos son los que finalmente terminan en los vertederos. (Rodríguez, 2015)

➤ **Clasificación según su peligrosidad:** Residuos peligrosos. Los residuos peligrosos están definidos como aquellos que afectan la salud o integridad de los expuestos a ellos, entre estos están clasificados los que tienen contenidos explosivos, oxidante, inflamable, tóxico, nocivo, cancerígeno, tóxico para la reproducción, mutagénico y ecotóxico. (Sadhvani, 2015).

➤ **Residuos no peligrosos.** Se consideran no peligrosos, todos los residuos que no representan ningún tipo de riesgo para la comunidad, o que no requieren un tratamiento especial o clasificado para su disposición final. (Sadhvani, 2015).

➤ **Residuos especiales.** En la clasificación de los residuos especiales cabe la generación de residuos voluminosos que no pueden ser desechados de forma

ordinaria y requieren un tratamiento especial, los aceites vegetales usados, pilas usadas, medicamentos usados, calzado y ropa usada, residuos de construcción y demolición, residuos sanitarios, vehículos y neumáticos inutilizados y otros residuos industriales no peligrosos. (Pecoraio, 2015).

5.2.1.3 Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

La mayoría de las ciudades de Colombia no tienen soluciones a corto o mediano plazo para mitigar los efectos negativos que ha generado el aumento excesivo de residuos, ente estos impactos está el agotamiento de capacidad de los espacios dispuestos actualmente para verter estos residuos, a lo que también se suma la baja conciencia y desinformación de las normas de manejo ambientalmente sostenibles o de aplicaciones prácticas que aporten a la minimización de la generación de estos, por tanto la reducción de sus consecuencias y efectos. Esto lleva al desaprovechamiento económico y ambiental que puede generarse a partir de estos, evidenciándose en desperdicios económicos y de recursos. (Portillo, Rivera & Loaiza, 2021)

Una de las principales causales de este desmedido nivel de generación de residuos, ha sido sin duda el crecimiento poblacional. Más de 30.000 toneladas de residuos se generan diariamente en el país, lo que implica una problemática no sólo ambiental, sino también social y económica; y aunque se han implementado estrategias y alternativas para mejorar la disposición y el aprovechamiento de estos, es evidente que no han sido del todo efectivas. Efectos del no 100% efectivo manejo del tema por parte de las entidades correspondientes y la población se evidencia con el cierre de Rellenos como el de la curva de rodas que ya se encuentra en proceso de clausura.

Se estima que el 61,5 % de los residuos dispuestos en rellenos sanitarios corresponde a residuos orgánicos, los cuales pueden ser reincorporados a la economía, con el fin de generar no solo un beneficio económico, sino también contribuir con un desarrollo sostenible. Y, como efecto, se podrá reducir la presión sobre el ambiente por medio del reciclaje o a la diversificación de la matriz energética de las fuentes renovables y aprovechar la energía que estos poseen para la generación de combustibles, electricidad o calor. (UPME, 2018)

Para comprender la problemática, es necesario tener presente cómo se implementa la clasificación o caracterización de los residuos en Colombia. Según PGIRS Regional 2017-2030, los componentes principales de dicho plan se basan en la clasificación de estos como residuos aprovechables reciclables, orgánicos biodegradables y no aprovechables, entendiendo como residuo, todo tipo de material o elemento que resulta del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, comerciales, etc. que finalmente luego de su uso, el generador abandona o desecha y es posible que sea nuevamente aprovechado o transformado de nuevo en un bien con valor económico (Jaramillo & Zapata, 2008).

El plan de gestión integral de residuos sólidos regional con sus siglas PGIRS-R, fue implementado como estrategia para afrontar y reducir los impactos adversos generados por el consumismo desmedido, estableciendo un procedimiento estandarizado para el control y manejo de los residuos, por lo que el Minambiente, define la gestión integral de los residuos sólidos como las “actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, realizar el aprovechamiento *teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. Incluye tratamiento y disposición final de los RSU no aprovechables*”.

Una vez identificada la categoría de los residuos y clasificados, es posible definir el que hacer con ellos debido a que tienen un tipo de procesamiento diferente y de esto depende de finalmente su disposición o tratamiento. El Decreto 1076 de 2015, establece 8 etapas principales para realizar un manejo integral de los residuos de la siguiente forma:

1. Prevención y minimización
2. Generación
3. Separación en la fuente
4. Almacenamiento
5. Recolección y transporte
6. Aprovechamiento
7. Tratamiento
8. Disposición final

Para la correcta separación de residuos se ha establecido en la Resolución 2184 de 2019 la disposición en recipientes identificados por colores, de forma que en el color blanco se disponen los residuos aprovechables, en la verde los residuos orgánicos aprovechables y en la gris los residuos no aprovechables. De esta forma, para las empresas recolectoras es mucho más fácil realizar el proceso de clasificación y disposición en los vertederos, es en este punto en donde se hace énfasis en la importancia de realizar el aporte como ciudadanos, desde casa.

Figura 8. Código de colores para la separación de Residuos a nivel nacional.



Fuente: Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Área Metropolitana Valle de Aburrá

5.2.2 Disposición de RSU en Colombia.

El proceso de disposición de los residuos sólidos en Colombia depende principalmente de las características de estos y del manejo que hayan tenido en su proceso de generación, sin embargo, hay una gran cantidad de residuos que no llegan a tener un correcto manejo y terminan dispuestos en lugares en donde solo generan perjuicios para la comunidad.

De acuerdo con el “Informe nacional de disposición final de residuos sólidos - Vigencia 2020”, presentado por la SSPD, las cifras desde el 2010 hasta el 2020 muestran cuál ha sido el comportamiento de esta situación en las principales ciudades a nivel nacional a través de los últimos años, además de evidenciar que a pesar de que se tiene un sistema para llevar control de los manejos de los residuos, este presenta un déficit grande en el reporte de información verídica y confiable que puedan presentar los operadores de aseo de cada localidad, debido a que los informes no reportan el 100% de la información al sistema SUI. Esto ha impedido que se tenga una cifra exacta de qué cantidad de residuos se generan y que cantidad terminan siendo aprovechados o dispuestos en los vertederos o, por el contrario, dispuestos en sitios no autorizados, como consecuencia de esto, se desconoce finalmente la capacidad real de los vertederos dispuestos por lo que se debe especular con cifras proyectadas con base a lo que si se logra identificar. (S.S.P.D. 2021)

A continuación, se relaciona un comparativo de la información registrada desde el 2018 en el sistema SUI hasta el 2020 según Superservicios:

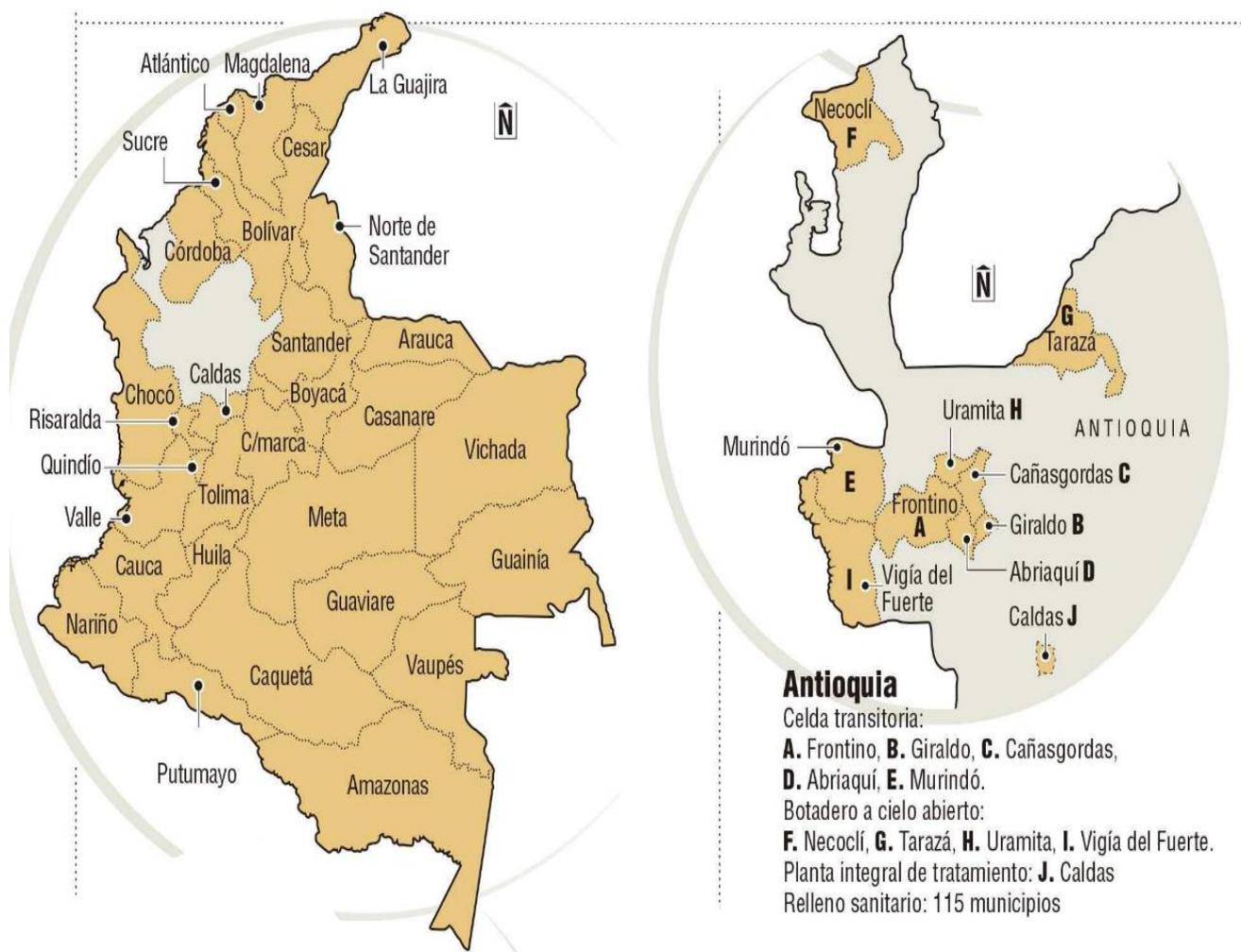
Tabla 7. Porcentaje de reporte de la información por departamento 2018-2020.

DEPARTAMENTO ATENDIDO	TOTAL MUNICIPIOS	Información 2018		Información 2019		Información 2020	
		MUNICIPIOS CARGUE SUI	CARGUE SUI 2018	MUNICIPIOS CARGUE SUI	CARGUE SUI 2019	MUNICIPIOS CARGUE SUI	CARGUE SUI 2020
AMAZONAS	2	2	100,00%	2	100,00%	2	100,00%
ANTIOQUIA	125	94	75,20%	101	80,80%	109	87,20%
ARAUCA	7	5	71,43%	3	42,86%	4	57,14%
ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	2	2	100,00%	2	100,00%	2	100,00%
ATLÁNTICO	23	19	82,61%	21	91,30%	23	100,00%
BOGOTÁ, D.C.	1	1	100,00%	1	100,00%	1	100,00%
BOLÍVAR	46	17	36,96%	17	36,96%	29	63,04%
BOYACÁ	123	114	92,68%	111	90,24%	118	95,93%
CALDAS	27	22	81,48%	22	81,48%	26	96,30%
CAQUETÁ	16	10	62,50%	9	56,25%	13	81,25%
CASANARE	19	18	94,74%	17	89,47%	11	57,89%
CAUCA	42	25	59,52%	26	61,90%	33	78,57%
CESAR	25	22	88,00%	23	92,00%	22	88,00%
CHOCÓ	30	2	6,67%	5	16,67%	9	30,00%
CÓRDOBA	30	24	80,00%	26	86,67%	30	100,00%
CUNDINAMARCA	116	34	29,31%	110	94,83%	116	100,00%
GUAINÍA	1-2	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
GUAVIARE	4	4	100,00%	4	100,00%	4	100,00%
HUILA	37	37	100,00%	37	100,00%	37	100,00%
LA GUAJIRA	15	10	66,67%	11	73,33%	14	93,33%
MAGDALENA	30	14	46,67%	13	43,33%	20	66,67%
META	29	14	48,28%	26	89,66%	28	96,55%
NARIÑO	64	49	76,56%	51	79,69%	51	79,69%
NORTE DE SANTANDER	40	40	100,00%	33	82,50%	33	82,50%
PUTUMAYO	13	9	69,23%	8	61,54%	10	76,92%
QUINDÍO	12	11	91,67%	1	8,33%	12	100,00%
RISARALDA	14	3	21,43%	4	28,57%	13	92,86%
SANTANDER	87	54	62,07%	38	43,68%	77	88,51%
SUCRE	26	14	53,85%	15	57,69%	23	88,46%
TOLIMA	47	35	74,47%	39	82,98%	41	87,23%
VALLE DEL CAUCA	42	27	64,29%	24	57,14%	41	97,62%
VAUPÉS	3	2	66,67%	2	66,67%	2	66,67%
VICHADA	4	2	50,00%	2	50,00%	1	25,00%

Fuente: Informes de disposición final SSPD, SUI, sistema de gestión documental Orfeo, visitas, cálculos SSPD.

A continuación, se presenta una gráfica en la que se puede visualizar de forma general, los medios de disposición de residuos en las ciudades de Colombia.

Figura 9. Disposición de los residuos sólidos en Colombia (Mapa).



Fuente: Superintendencia de servicios públicos

Figura 10. Disposición de los residuos sólidos en Colombia (Por departamentos)

Amazonas	Botadero a cielo abierto:22	Relleno sanitario:3
Celda transitoria:1	Relleno sanitario:4	Planta integral:4
	Cuerpo de agua:2	
Arauca		Quindío
Celda transitoria:4	Córdoba	Relleno sanitario:12
Botadero a cielo abierto:2	Botadero a cielo abierto:4	
Relleno sanitario:1	Relleno sanitario:26	Risaralda
		Relleno sanitario:14
Atlántico	Cundinamarca (incluye Bogotá)	
Botadero a cielo abierto:2	Relleno sanitario:117	San Andrés, Providencia y Santa Catalina
Relleno sanitario:21		Relleno sanitario:2
	Guainía	
Bolívar	Botadero a cielo abierto:1	Santander
Botadero a cielo abierto:33		Celda transitoria:16
Relleno sanitario:12	Guaviare	Botadero a cielo abierto:15
Celda transitoria:1	Celda transitoria:4	Relleno sanitario:49
		Planta integral:3
Boyacá	Huila	Quema:1
Celda transitoria:13	Botadero a cielo abierto:1	Enterramiento:1
Botadero a cielo abierto:5	Relleno sanitario:14	
Relleno sanitario:90	Planta integral:22	Sucre
Planta integral:14		Botadero a cielo abierto:6
	La Guajira	Relleno sanitario:19
Caldas	Celda transitoria:2	Planta integral:1
Relleno sanitario:27	Botadero a cielo abierto:4	
	Relleno sanitario:9	Tolima
Caquetá		Celda transitoria:3
Botadero a cielo abierto:2	Magdalena	Botadero a cielo abierto:14
Relleno sanitario:14	Botadero a cielo abierto:22	Relleno sanitario:23
	Relleno sanitario:8	Planta integral:1
Casanare		
Celda transitoria:1	Meta	Valle del Cauca
Botadero a cielo abierto:1	Celda transitoria:4	Celda transitoria:1
Relleno sanitario:15	Botadero a cielo abierto:2	Botadero a cielo abierto:3
Planta integral:2	Relleno sanitario:21	Relleno sanitario:33
	Planta integral:2	Planta integral:5
Cauca		Vaupés
Celda transitoria:11	Nariño	Botadero a cielo abierto:1
Botadero a cielo abierto:17	Celda transitoria:1	Relleno sanitario:2
Relleno sanitario:13	Botadero a cielo abierto:15	
Planta integral:1	Relleno sanitario:46	Vichada
	Cuerpo de agua:2	Botadero a cielo abierto:1
Cesar		Relleno sanitario:3
Celda transitoria:8	Norte de Santander:	
Botadero a cielo abierto:2	Botadero a cielo abierto:5	
Relleno sanitario:15	Relleno sanitario:35	
		Putumayo
Chocó	Celda transitoria:1	Celda transitoria:1
Celda transitoria:2	Botadero a cielo abierto:5	Botadero a cielo abierto:5

Fuente: Superintendencia de servicios públicos

5.2.2.1 Sistema de disposición final.

Para la disposición final de los residuos sólidos recolectados, el decreto 1076 de 2015 define los sistemas autorizados como aquellos que tienen los permisos de carácter legal o ambiental para la realizar la actividad. Esto hace referencia a las licencias ambientales, el Plan de manejo Ambiental (para sitios existentes antes de la expedición de la Ley 99 de 1993) o acto administrativo mediante el cual permita la operación del sitio. (SSPD, 2021).

Dentro de la clasificación de los sitios autorizados están los Rellenos sanitarios y las celdas de contingencia como lugares dispuestos legalmente para este tipo de actividades, pero también están clasificados los sitios no autorizados conocidos como celdas transitorias y los botaderos a cielo abierto, que son usados principalmente por la comunidad civil.

➤ **Sistemas autorizados.**

- **Relleno sanitario.** Es definido en el Decreto 838 de 2005, como “el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.”

- **Celda de contingencia.** En el Informe nacional de disposición final de residuos sólidos 2020, la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, define a través de la Resolución 1890 de 2011, una celda de contingencia, como una alternativa para la disposición final con que contaron los municipios que se acogieron a la Resolución 1390 de 2005 y sus modificaciones.

➤ **Sistemas no autorizados.**

- **Celda transitoria.** Son consideradas por Montes, 2018, como un lugar utilizado para la disposición de residuos de forma no regulada, pues estos sitios no cuentan con las especificaciones técnicas para el manejo correcto de los lixiviados producidos por estos residuos en descomposición. Están diseñadas según la Resolución 1390 de 2005, como alternativas de vertederos para aquellos municipios que no tengan la capacidad de disponer un relleno sanitario legal. Están creadas para tener una capacidad de disposición que equivale a la generación de residuos durante 36 meses, luego de este periodo deben ser sellados. (SSPD, 2021).
- **Botadero a cielo abierto.** En la Resolución 1045 de 2003, se definen los botaderos a cielo abierto como Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las normas vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general. A continuación, se relaciona.

5.2.2.2 Generación de RSU en el Área metropolitana

- **Disposición de los RSU en los rellenos sanitarios en el área metropolitana de Medellín.** En la presentación del Área Metropolitana Valle de Aburrá, respecto al manejo integral de los residuos sólidos en el sector residencial e institucional, se hace un recuento de los rellenos sanitarios que estuvieron dispuestos en el valle de Aburrá. En este, encontramos que el conocido Rio Medellín, en la época de los 60, fue el vertedero principal no autorizado de la región, posterior a este, entre 1972 y 1984 estuvo en funcionamiento El “Cerro de la Vergüenza”, lo que se conocía como el vertedero de Moravia, que hoy en día está clausurado y convertido en un jardín. Entre 1984 y 2003, estuvo en funcionamiento el vertedero Curva de Rodas, que como indica Emvarias, está en proceso de postclausura, y se están adecuando sus terrenos para recuperarlos. En este relleno se disponían al menos 1400 toneladas de residuos por día. En sus 64 hectáreas, pudo recibir un promedio de 8,5 millones de toneladas de residuos.

El relleno sanitario el Guacal, que funcionó entre 2006 y 2015, en su momento recibió hasta 400 toneladas de residuos por día. Cerró con al menos 4,2 millones de toneladas de residuos, y hoy en día funciona como una granja solar en función del aprovechamiento energético.

En la actualidad, está en funcionamiento el relleno sanitario La pradera que contiene los vasos: La Carrilera, La Música, Altaír, La Piñuela y Cumbres, y que entró en funcionamiento en el 2003 con una capacidad de 382 hectáreas para disponer los residuos de al menos 34 municipios. En promedio se disponen al día 3.200 toneladas de residuos. Emvarias, anuncia que su

funcionamiento está asegurado hasta el 2029 debido a que Corantioquia aprobó la modificación de su licencia ambiental, teniendo presente que en este relleno se disponen al menos el 80% del total de los residuos generados en Antioquia. Del 100% de los residuos dispuestos en la Pradera, el 59% corresponden a materia orgánica, 10% papel, 11% plásticos, 2% cartón, , 3% vidrio, 1% metales y un 13% a residuos ordinarios e inertes. (INTEINSA, 2019).

- **Vida útil de los vertederos.** De los 5 vasos que tiene dispuesto el relleno sanitario La Pradera, ya 2 de ellos se encuentran cerrados, estos son el vaso la Carrilera activo del 2003 al 2004 con una capacidad de 545.454 m³ y el vaso La Música, que funcionó desde el 2004 hasta el 2015, con una capacidad de 3.598.946 m³. El vaso Altair, está funcionando desde el 2015 hasta la actualidad, y cuenta con una capacidad instalada de 5.543.500 m³. Los vasos de La Cumbre y La Piñuela se proyectan para una vida útil hasta el 2029. (Flórez, 2019).

5.2.2.3 Impactos y efectos.

La disposición de los residuos tiene impacto en mayor o menor medida de acuerdo a las alternativas de disposición que se desarrolle en cada caso, para el caso de Colombia se ha evidenciado que se adoptan los rellenos sanitarios como técnica principal, sin embargo los proyectos y programas complementarios que se implementen serán con los que mitigaran en menor o mayor medida los impactos y efectos ambientales, sociales e inclusive los económicos alrededor de las comunidades afectadas e inclusive de las áreas que se benefician del servicio de disposición de residuos.

- **Contexto ambiental.** En el contexto ambiental se pretende disminuir el impacto por medio de la mitigación de: los focos de infecciones, la proliferación de insectos vectores y roedores que pueden transmitir enfermedades, la contaminación de fuentes de agua por la descomposición de las basuras, la contaminación del suelo, el deterioro estético del paisaje por abandono y acumulación de basuras, la contaminación del aire, la descomposición de basuras que genera malos olores, los humos que producen cuando son quemadas. Lo anterior finalmente ayuda a proteger la salud humana, el recurso suelo, aire y agua y a conservar la estética de los paisajes. (UPME, 2018)

- **Contexto social.** Las estrategias de gestión social tienen como objetivo principal el control de los impactos sociales, económicos y culturales, que se puedan generar en las comunidades ubicadas en las comunidades de las áreas impactadas por los proyectos de disposición de residuos. Siendo ideal buscar el desarrollo de dichas actividades de una manera integral, en lo económico, lo ambiental, y en lo social, procurando el beneficio compartido con la comunidad afectada. (UPME, 2018).

5.2.3 Marco Legal.

Nuestro país, está cada día actualizándose en la normatividad ambiental mundial, y es así como mediante la expedición de diferentes documentos regulatorios, se pretende regular los aspectos relacionados con la generación, manejo y disposición de los Residuos sólidos en Colombia. A continuación, se relacionan algunas de ellas:

5.2.3.1 Marco Legal Gestión de RSU

➤ **Normativa nacional:**

- **Ley 142/1994.** Régimen de los servicios públicos domiciliarios – Modificada parcialmente Ley 689/200.
- **Ley 1801/2016.** Código nacional de policía y convivencia ciudadana.
- **Decreto 1077/2015.** Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.
- **Decreto 596/2016.** Modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento.
- **Resolución 541/1994.** Regula el cargue-des, transporte, almacenamiento y disposición final escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación –A PARTIR DE 01 DE ENERO DE 2018 Rige la R 472 28-02-2017.
- **Resolución 754/2014.** Metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- **Resolución CRA 720/2015.** Régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas.

- **Resolución 668/2016.** Reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.
- **Resolución 276/2016.** Reglamentan los lineamientos del esquema operativo de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y del régimen transitorio (Capítulo 5 del Título 2 de la parte 3 del decreto 1077 de 2015 adicionado por el Decreto 596 de 11 de abril de 2016).

➤ **Normativa Departamental:**

- **Ordenanza 10/2016.** Se institucionaliza el programa “Basura Cero” en el Departamento de Antioquia.
- **Acuerdo Metropolitano 23/2018.** Se adopta el Plan de gestión integral de Residuos sólidos (PGIRS-R) del Área Metropolitana Sólidos.
- **Resolución Metropolitana 879/2007.** Se adopta el manual para el Manejo Integral de Residuos en el Valle de Aburra como instrumento de autogestión y auto regulación.

➤ **Normativa local:**

- **Decreto Municipal 440/2009.** Adopta el manual para el manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) AMVA y se dictan disposiciones generales para la GIRS de Medellín.

- **Decreto Municipal 734/2013.** Adopta el manual para el manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) AMVA y se dictan disposiciones generales para la GIRS de Itagüí

5.2.3.2 Otra normatividad.

- **CONPES 3874 de 2016.**
- **Ley 99 de diciembre 22 de 1993.** Elaborada por el Congreso de la República de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Una de las funciones del Ministerio es regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural.
- **Decreto 605 de 1996.** Por medio del cual se establecen los lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección y transporte, transferencia hasta su disposición final y las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.
- **Resolución 0472/2017.** Gestión Integral de RCD.

- **Decreto 1077 del 2015.** compilados del Decreto 2981 del 2013.
- **Ley 1083 de 2006.** "Por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones".
- **Ley 99 de 1993.** Que, en primera instancia, el numeral 1 del artículo 1, señala que el proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo, entre los cuales vale la pena resaltar, por su incidencia frente a la búsqueda del desarrollo sostenible y la protección del ambiente, los principios 1, 4, 8 y 9.
- **Decreto 2981 del 20 de diciembre de 2013.** "Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo". Este Decreto reglamenta la Ley 142 de 1994 y contempla temas novedosos, que apenas fueron tocados en su momento, como son: El aprovechamiento de los residuos y la inclusión de los recicladores.
- **Ley 2099/2021.** Promover la utilización de fuentes no convencionales de energía e incentivar el uso eficiente de los recursos energéticos.
- **Ley 1715 de 2014.** Tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos.

- **Ley 142/1994.** Régimen de los servicios públicos domiciliarios – Modificada parcialmente Ley 689/200.
- **Decreto 2143 de 2015.** Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.

5.2.4 Aprovechamiento de RSU en Colombia.

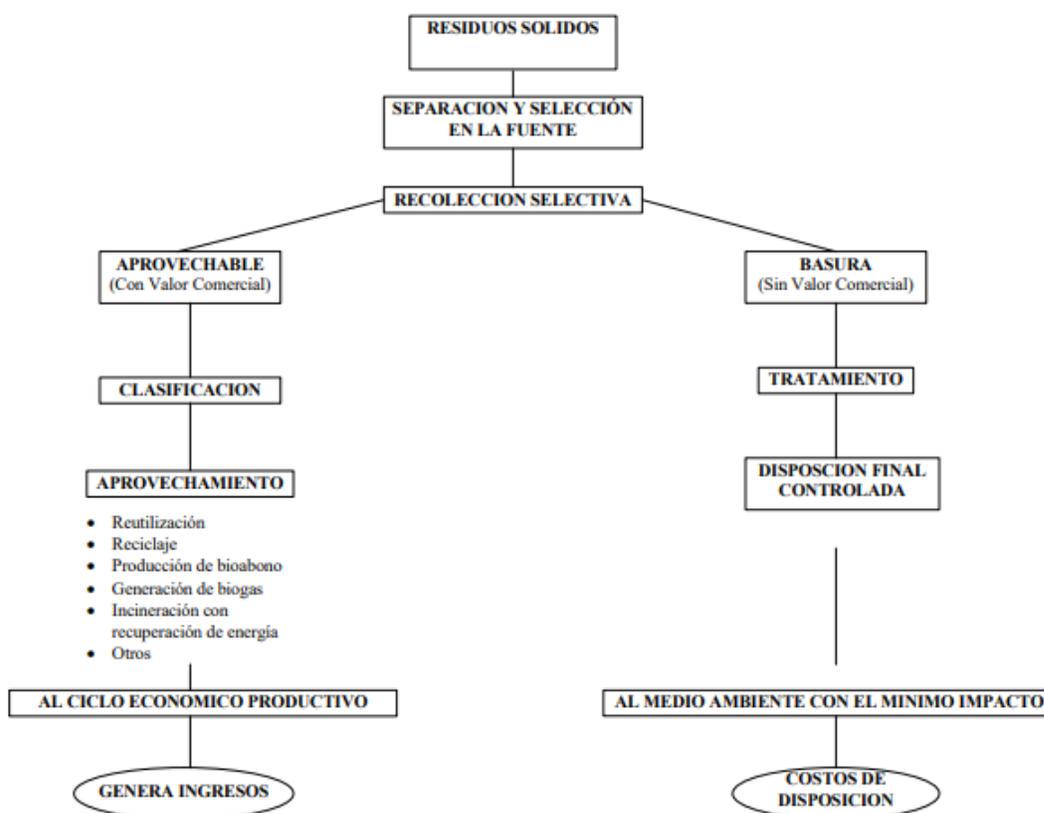
Hablando de aprovechamiento, se puede considerar el reciclaje, la reutilización, el compostaje, la generación de biogás, la lombricultura y la recuperación de energía. Para el logro de estos, es pertinente definir las características que estos residuos deben tener con el fin de que sean aplicables a alguna de las formas de aprovechamiento disponibles.

Como se menciona en el Decreto 1713 de 2002, en el caso del reciclaje, los residuos deben estar limpios y debidamente clasificados según el tipo de material. En cuanto al proceso de compostaje, los residuos no deben estar contaminados con sustancias tóxicas o metales pesados. Si es para el proceso de generación de energía, proceso en el cual se pretende enfocar el presente proceso es importante analizar factores como la composición química, la capacidad calorífica y el contenido de humedad, entre otros. El tratamiento que se brinda a estos residuos ya clasificados puede ser físico, químico, biológico o térmico (Decreto 1076 de 2015).

Todo este proceso de clasificación se lleva a cabo, a partir del proceso de la generación del residuo, es decir, antes de llegar a la clasificación anteriormente

mencionada, se lleva a cabo un proceso más detallado que va desde la generación del residuo, hasta el transporte y la disposición final de este a partir de un manual de gestión integral de residuos implementado por el Área metropolitana del valle de Aburrá según el decreto 1076 de 2015. Para ello es imprescindible tener claro el concepto de residuo aprovechable y lo que comúnmente llamamos basura, que con los desechos a los que ya no se les puede dar un tratamiento diferente a la disposición en los rellenos de forma definitiva.

Figura 11. Gestión diferenciada entre los residuos aprovechables y las basuras.



Fuente: Ministerio del medio ambiente. Política para la gestión de residuos. Santa fe de Bogotá, 1997. P. 15

Respecto a la localización de las plantas de tratamiento, se debe (Decreto 1373 de 2002):

- Tener en cuenta los usos del suelo establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial, POT, Plan Básico o Esquema de Ordenamiento Territorial, EOT, y el Plan de Desarrollo del Municipio o Distrito.
- Ser técnica, económica y ambientalmente viable, teniendo en cuenta las condiciones de tráfico, ruido, olor, generación de partículas, esparcimiento de materiales, descargas líquidas y control de vectores.
- Considerar las rutas y vías de acceso de tal manera que minimice el impacto generado por el tráfico.

Un concepto que ha sonado bastante en los últimos tiempos ha sido el de economía circular, un concepto con principios enfocados a los beneficios ambientales, sociales y empresariales. El modelo desarrolla la idea de reciclaje, como un proceso que va más allá de la generación y el reciclaje de los residuos. “Es un modelo de producción Es un modelo de producción industrial que consiste en diseñar productos para que duren más, para que puedan repararse y actualizarse, para que puedan reutilizarse o revenderse” (Healey, 2016)

5.2.4.1 Formas de aprovechamiento de RSU.

- **Reciclaje.** Según la red de desarrollo sostenible de Colombia, “el reciclaje es el acopio y reprocesamiento de un recurso material, de modo que pueda transformarse en nuevos productos. Logrando reducir la cantidad de material virgen que se deben extraer de la corteza terrestre, provocando menos contaminación y abatiendo costos en el manejo de residuos sólidos.” A su vez, manifiestan que existen dos tipos de reciclaje, uno que se considera primario que sirve para producir productos del mismo tipo y el secundario que

sirve para transformarlo en diversos productos. (Red de desarrollo Sostenible)

- **Compostaje y lombricultura.** La lombricultura se define como una técnica en el campo agroecológico y de la biotecnología para la cría de lombrices para la descomposición de la materia orgánica y obtención de humus compostaje. Según datos de la Asociación Colombiana de Compostadores (Asocompost), el país cuenta con estos cultivos usados como insumo para la producción de palma africana, banano, frutos, pastos, café, hortalizas y otros. La producción de materia orgánica que de allí se deriva ayuda a la recuperación de suelos y mejora la productividad de los cultivos en las fases de fertilización. A pesar de lo anterior, la Asociación Colombiana de Ingenieros Agrónomos, manifiesta que faltan inversionistas para apalancar el desarrollo de esta actividad, aun teniendo en cuenta que no es difícil de desarrollar como negocio. (Murcia & Salamanca, 2021)

- **Termovalorización.** Es un modelo conocido en inglés como “Waste-to-energy” (de basura a energía) y que consiste en la generación de electricidad o calor a partir del tratamiento primario de la basura. Las plantas de termovalorización energética son una forma alternativa de generar electricidad sin usar combustibles no renovables, esto lleva a reducir considerablemente el volumen de los residuos y a sustituir los combustibles tradicionales. Esta tecnología es utilizada en las principales ciudades de Europa, y México está desarrollando la primera planta con esta tecnología en Latinoamérica. Permite ser ubicado en zonas urbanas. La capacidad de esta tecnología es mayor, no genera residuos líquidos ni gases nocivos, el tiempo de tratamiento es más corto que la descomposición, produce es energía limpia, permite establecer varias plantas en diferentes zonas que reducirían

los largos trayectos de la recolección e inclusive disminuir la contaminación de los vehículos que transportan los residuos. (Toro, 2019).

5.2.4.2 Cifras de aprovechamiento de RSU.

Conforme a los datos expuestos por la superintendencia de servicios públicos, en Colombia se generan cerca de 12 millones de toneladas de basura al año, de las cuales se recicla en promedio un 16,5% de los residuos sólidos producidos. Cada día en el país se producen residuos por el orden de las 32.000 toneladas. Según la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP), de estos residuos, cerca de 40% podrían aprovecharse y no se hace, más teniendo en cuenta que las autoridades estiman que si el consumo de los colombianos se mantiene al ritmo vigente, la generación de residuos aumentará 20% en los próximos 10 años.

5.2.5 Waste to Energy.

El concepto Waste to Energy o WtE hace referencia a diferentes tipos de sistemas o tecnologías de conversión de residuos sólidos en energía. La tecnología Waste To Energy (WTE: residuos a energía), es una energía renovable y una alternativa inteligente, con un menor impacto ambiental que los rellenos sanitarios (Land-fill). (Montiel & Pérez, 2019).

5.2.5.1 Definición de Waste to Energy.

Waste-to-energy (WtE) “o” energy-from-waste (EfW). Proceso de generación de energía en forma de electricidad y/o calor a partir del tratamiento primario de desechos, o del procesamiento de desechos en una fuente de combustible. WtE es una forma de recuperación de energía. La mayoría de los procesos WtE generan electricidad y/o calor directamente a través de la combustión, o producen un producto combustible, como metano, metanol, etanol o combustibles sintéticos. área de investigación de relevancia ambiental, social y económica, que va más allá de la generación y el manejo integral de residuos. (Singh, 2019).

Cuando se habla de aprovechamiento y reutilización de residuos sólidos, cabe mencionar la Termovalorización como una de las formas más utilizadas para la eliminación física de gran parte de los residuos generados no sólo en Colombia sino también en gran parte del mundo. Una de las formas de implementar este proceso de transformación de residuos por medio de las conocidas tecnologías Waste to Energy, que utiliza los residuos sólidos y ciertos procesos químicos y físicos para aprovecharlos en energía y otros. (Montiel & Pérez, 2019).

Para el proceso de generación de energía, es necesario que los residuos dispuestos para esta función cumplan ciertas condiciones físicas y químicas, estas características son las que definen el resultado o disposición final que tendrá la biomasa después de haber entrado al proceso de combustión.

Figura 12. Características fisicoquímicas de los residuos sólidos

Característica	Tipo	U.M.	Definición
Química	Poder calorífico	Kcal/Kg	Cantidad de energía que entrega una unidad (kg o m3) de combustible al oxidarse de forma completa.
Química	Sustancias químicas	%	Porcentajes de cenizas, materia orgánica, C, N, K, Ca, P, relación C/N, humedad, entre otros.
Física	Peso Especifico	Kg/m3	Es la relación del peso de los residuos en función del volumen que ocupan. Es fundamental para el dimensionar de equipos e instalaciones.
Física	Composición Gravimétrica	%	Peso porcentual de cada componente en relación con el peso total de RS.
Física	Humedad	%	Cantidad de agua presente en los residuos en relación con su peso y composición.

Fuente: Perilla & Pongutá, (2021).

Es relevante también tener presente, que para que se cumpla el proceso de transformación de energía, es requerida cierta cantidad de biomasa dispuesta en el relleno y posterior a la planta de tratamiento de Waste to Energy.

En la tabla 8, se hace una relación de la disposición de los residuos en el relleno sanitario La pradera

Tabla 8. Cantidad de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario La Pradera.

MUNICIPIO	DISPOSICIÓN	
	(Ton/día)	%
Medellín	1,254	66.16
Itagüí	137	7.23
Bello	143	7.54
Envigado	130	6.86
Sabaneta	47	2.48
Caldas	27	1.42
Rionegro	51	2.69
Copacabana	27	1.42
Barbosa	19	1.00
La Estrella	25	1.32
Girardota	21	1.11
El retiro	7	0.37
Guarne	6	0.32
Gómez Plata	0.6	0.03
Heliconia	0.6	0.03
Yolombó	0.2	0.01
Guadalupe	0.01	0.00
TOTAL	1,895	100.00

Fuente: Empresas Varias de Medellín E.S.P.-Disposición Final.

- ✓ **Proceso y funcionamiento de las tecnologías Waste to Energy o Energy from Waste.** El aprovechamiento de residuos por medio del proceso de combustión, pirólisis o gasificación, o lo que conocemos como termovalorización para la generación de energía, no es un tema nuevo, sin embargo, cada vez surgen conceptos más modernos que dan un enfoque más abierto a la reducción de residuos de forma sostenible y ecológica, como es el caso de las tecnologías de plasma. En los países industrializados son definiciones que cada vez tienen más acogida y que sirven de ejemplo para la implementación en países no tan desarrollados. (Moratorio & Castelli, 2012).

En el contexto específico de la termovalorización, como mencionan Vergini, Melano & Saccon, (2018), en su proyecto “Planta generadora de energía mediante la incineración controlada de rsu”, en la pirolisis hay ausencia de oxígeno, en el proceso de gasificación hay defecto de oxígeno y en la incineración hay exceso de oxígeno. Comprendiendo lo anterior, se determina que las diferencias entre cada una de las formas tecnológicas existentes para el manejo de residuos a través de combustión, pueden ser relacionadas mediante el ambiente de reacción y la temperatura.

Tabla 9. Comparación entre las tres tecnologías de Termovalorización.

	Pirolisis	Gasificación	Incineración
Temperatura de operación	400 a 1.500°C	3.000 a 10.000°C	400 a 980°C
Condiciones de proceso	Ausencia de O ₂ + atmósfera inerte. Reacciones endotérmicas.	Presencia de O ₂ en defecto. Reacciones exotérmicas	Presencia en exceso de O ₂ . Reacciones exotérmicas
Combustible	Se necesita combustible externo para aporte de calor	No es necesario un combustible	Es necesario un combustible
Operación	Puede operarse de forma continua	Puede operarse de forma continua	Puede operarse de forma continua
Reacciones	Desintegración térmica + reacciones de condensación en fracciones sólidas, líquidas y gaseosas.	Degradación del residuo hasta obtener los compuestos básicos.	Oxidación química en exceso de oxígeno
Productos primarios	Carbón, aceites y alquitrán, gas de síntesis	Gas de síntesis, producto vítreo inerte	Cenizas, gases y calor-
Formas de recuperación de productos y energía	Carbón: energía calórica. Gas: síntesis, turbina de gas, turbo expansor y caldera. Aceites y alquitrán: extracción, aumento, turbina de gas, caldera.	El gas de síntesis puede ser usado en turbina de gas, turbo expansores y en calderas	El calor se aprovecha en un turboexpansor y en una caldera.

Fuente: Vergini, Melano & Saccon, (2018).

Todas estas tecnologías usan una materia prima que es la biomasa, que, en cuestión energética, es la única materia que genera una fuente renovable de energía y que permite su transformación en combustibles líquidos, gaseosos o sólidos como se menciona en la tabla anterior, entendiéndose por biomasa “la materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre llamada biosfera, la cual representa una fracción muy pequeña de la masa terrestre”.

Debido a que la biomasa abarca una gran variedad y tipos de materias orgánicas, estas terminan siendo caracterizadas por lo heterogéneas que son, no sólo en su origen sino también por su naturaleza. Esta concepción de la biomasa hace que finalmente el impacto en el ambiente sea bajo, pues deja de ser un factor de contaminación y pasa a ser una materia prima para generar no solo energías y combustibles, sino también empleo para quienes la procesan. La preparación involucra la separación y clasificación que debe ser hecha en primera instancia por personas. (Haykiri-Acma., 2003)

En cuanto a la caracterización de la biomasa, se debe considerar aspectos como (Hernández, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2010):

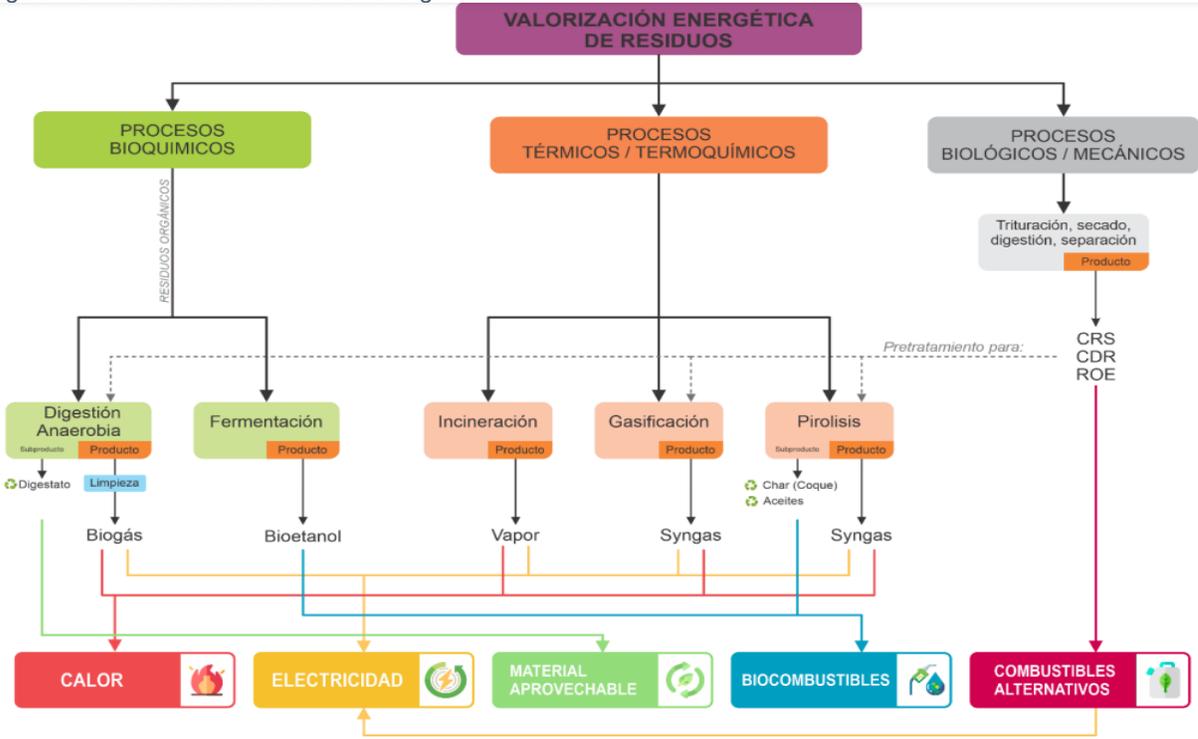
- La composición física: En la que se realiza el análisis de la densidad de los residuos, el color y la humedad relativa.
- El análisis elemental: En el que se determina los porcentajes de Oxígeno, Carbono, Hidrógeno, Azufre y Nitrógeno que tienen los residuos o biomasa generada.
- El análisis próximo: En el que se hace la evaluación del contenido fijo de Carbono, el material volátil y las cenizas.
- El análisis estructural: en el que se hará la verificación de cantidades de lignina, de celulosa y de hemicelulosa que hay en la biomasa.

A partir de esta caracterización, como se indica en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, es posible determinar el potencial energético de la biomasa, que están constituidos principalmente por residuos de madera, papel, carbón vegetal, residuos de alimentos, aguas negras y residuos vegetales que finalmente son los aportantes a la constitución orgánica de estos residuos. Esto sucede en el momento que se descompone su parte orgánica, generando metano y dióxido de carbono, los gases más contaminantes para el planeta. Es por estas emisiones que se pretende la implementación de tecnologías como la de WtE para el control de esas emisiones, además del aprovechamiento de estos a través de procesos regulados, (Hernández, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2010).

Una vez identificado el tipo de biomasa obtenida y según sus características físico-químicas, lo siguiente es identificar a través de cuál de los procesos se va a realizar la conversión (para el análisis del presente proyecto, se realiza énfasis en las tecnologías que dan como resultado final materia prima para generar electricidad). Esta decisión depende de que se tenga y que se necesite conseguir al final del

proceso de valorización energética como se muestra en la Figura 12, en la que se relacionan los diferentes tipos de transformación y tratamiento de la biomasa. Estos procesos, comprenden tratamientos bioquímicos, térmicos y biológicos generando como resultado de la aplicación; calor, electricidad, material aprovechable, biocombustibles o combustibles alternativos. (Perilla & Pongutá, 2021).

Figura 13. Procesos de valorización energética de residuos



CRS: Combustible Sólido Recuperado. CDR: Combustible Derivado de Residuos. ROE: Residuo Orgánico Estabilizado

Fuente: Perilla & Pongutá, (2021).

En cuanto al proceso para convertir los RSU en energía eléctrica, este es relativamente fácil (Residuos profesional, 2016):

1. Un lector óptico (sistema electromecánico robotizado) realiza el proceso de clasificación identificando el color de la bolsa en la que fueron dispuestos los residuos, pues en ellos países desarrollados, implementan la cultura de la

separación (Los países desarrollados son los principales focos de implementación de las plantas Wte en el mundo), utilizando para los plásticos las bolsas de color azul y estas las clasifican en los residuos para reciclar. Las bolsas de color verde son utilizadas para verter los residuos de alimentos y residuos orgánicos, que se destinan para conseguir fertilizantes, compostaje y biogás. Por último, las bolsas blancas son incineradas en un horno a 850°C.

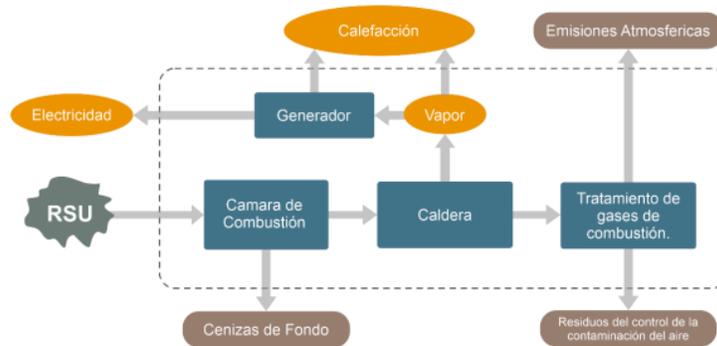
2. El calor que produce la combustión a esas altas temperaturas hace que el agua hierva generando vapor, vapor que es conducido a través de tuberías hasta un generador que mueve la turbina y finalmente genera energía. Una vez quemados los residuos, el 20% de estos se convierten en cenizas que pueden ser utilizadas en asfalto o que terminan dispuestas en los rellenos sanitarios en caso de no tener otro uso.

Las tecnologías que realizan sus procesos bajo tratamientos termoquímicos realizan sus actividades a través de altas temperaturas controladas para recuperar la energía de los residuos sólidos. Dentro de estos, están la incineración, el pirólisis y la gasificación. Dentro de los procesos químicos está la degradación anaeróbica. (INERCO, 2018).

- **Incineración:** A través de este proceso se reduce entre un 70% y 90% el peso y volumen de los residuos debido a la combustión controlada de estos. Esta forma de transformación es utilizada principalmente para la materia que no puede ser reciclada o reutilizada, generalmente son “Residuos altamente combustibles, papel, madera, cartones, incluidos hasta un 10% de papeles tratados, desechos de plástico o caucho; fuentes comerciales e industriales (Brunner, 2004).

Durante el proceso de combustión, los residuos dispuestos son secados mediante van pasando por una parrilla que los transporta, este secado se realiza a temperaturas entre 100°C y 250°C, luego pasa por una serie de procesos complejos que los prepara para la combustión final, actuando el oxígeno a temperaturas entre los 750 °C y los 1.200°C generando gases y sólidos como cenizas y las llamadas escorias. Las cenizas que quedan en el aire son normalmente metales y las escorias lo que queda al fondo del horno de combustión que posterior a este proceso tienen otro tratamiento y disposición. En cuanto a los gases que se generan, estos contienen monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, cloruro de hidrogeno (HCl), metales pesados, dioxinas y furanos, materiales altamente contaminantes para la atmosfera y que debe tener un tratamiento y disposición especial antes de ser dispuestos. Al final de la combustión, se genera calor o energía. El calor que se genera en la combustión se utiliza para producir vapor de agua a alta presión sobrecalentado, que después se envía a la turbina de vapor que se acopla con el generador para producir electricidad, o para proporcionar vapor de proceso. (Perilla & Pongutá, 2021)

Figura 14. Diagrama de flujo básico del proceso de incineración de residuos



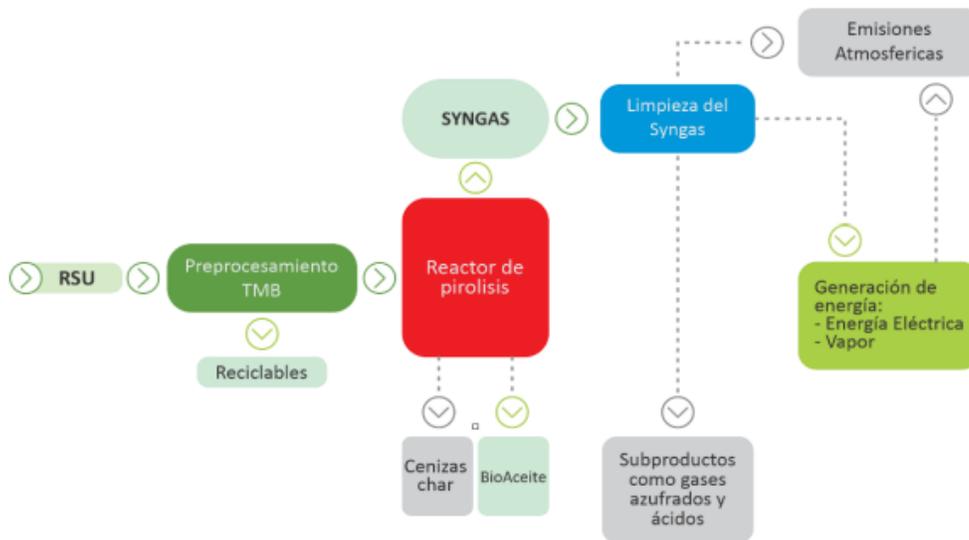
Fuente: Liu, Nishiyama, Kawamoto, & Sasaki, (2020)

- **Pirolisis:** Esta tecnología funciona similar a la incineración. Es utilizada principalmente para destruir desechos peligrosos, principalmente Rsu, RDF,

aguas residuales, lodos, carbón, neumáticos, ASR, biomasa, cloruro de polivinilo. Es definido también como el proceso endotérmico en que se suministra calor a un reactor, utiliza altas temperaturas en las cámaras de incineración con un mínimo nivel de oxígeno con la finalidad de evitar los fenómenos de combustión (Albano, Camacho, Hernández, Matheus, & Gutiérrez, 2009).

La biomasa se calienta a una temperatura de 450 °C y 600 °C en ausencia de oxígeno, convirtiéndose en fracciones líquidas, sólidas y gaseosas resultantes de este proceso, generando finalmente gases, hidrocarburos condensables y un char, que es un residuo carbonoso, también conocido como coque. Esto puede ser utilizado para generar biocombustibles. (Castells X. E., 2005)

Figura 15. Esquema básico pirolisis



Fuente: Young (2010) y Campos, Zamenian, Koo, & Goodman (2015)

- **Gasificación:** Esta técnica es usada para la transformación y procesamiento de RSU, residuos orgánicos, carbón, RDF (Residue Derived Fuel), lodos, residuos de refinerías, biomasa, PVC, lejía negra, neumáticos y ASR . Solo se deben procesar residuos orgánicos, por lo que se realiza una clasificación detallada en la que se retira material inorgánico y peligroso. Las partículas deben tener un tamaño uniforme y se debe secar para conservar una humedad por debajo del 15%. Produce al final de su procesamiento Syngas (CO₂, y H₂ y pequeñas cantidades de N₂, H₂O, CO₂ y C. (Perilla & Pongutá, 2021).

Se utiliza entre el 25% y 30% del oxígeno o vapor del agua que se requiere para la combustión y convertir los compuestos orgánicos en un gas combustible. “La gasificación genera un gas de combustible que se puede integrar con turbinas de ciclo combinado o motores alternativos, obteniendo así energía eléctrica a partir de dicho gas combustible.” (Klein & Themelis, 2003)

En conclusión, “en la gasificación, la energía química contenida en el sólido se convierte en energía química contenida en un gas.”(Castells, 2005).

Figura 16. Diagrama de flujo básico del proceso de gasificación de residuos



Fuente: Cameron, Mozaffarian, & Falzon, (2014)

Respecto del concepto renovable o no del uso de RSU como suministro de energía es preciso aclarar que se denomina energía renovable (no convencional) a la “energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales”. Las energías renovables, a diferencia de las energías convencionales, usan los recursos de la naturaleza, que son inagotables. (Águila, Cubillos, Estenssoro, Griffiths, Núñez, Parker, & Zolezzi, 2011).

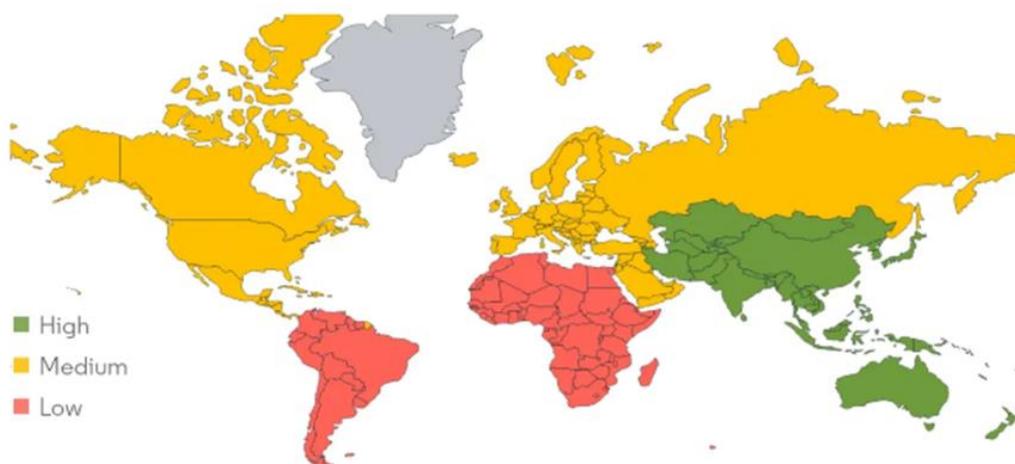
5.2.5.2 Contexto mundial.

La implementación de las plantas de Waste to energy en el mundo se dan principalmente en los países desarrollados, las cifras más actualizadas según indican Güsewell, Scherzinger, Holstenkamp, Vincent, & Eltrop, (2021), están alrededor de 1.400 plantas; de éstas, 512 están ubicadas en Europa, 822 están ubicadas en Japón, 88 ubicadas en estados unidos y 166 en China, sin embargo, es importante .mencionar que éstas cifras son aproximaciones y pueden ser variables debido al cierre y apertura de nuevas plantas con base en la antigüedad de su ingeniería y la obsolescencia de sus procesos tecnológicos.

En la Figura 17, se relacionan la relación de Apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología Waste to energy en términos de datos, 492 plantas de WtE en Europa al 2018, sin embargo, Güsewell, Scherzinger, Holstenkamp, Vincent, & Eltrop, (2021) dicen que al 2021, hay 512 plantas, posiblemente la diferencia se debe al crecimiento de la implementación de estas tecnologías además de que en las cifras de Reimann, (2021) no se relacionan las plantas de procesamiento de residuos peligrosos.

Para el 2018, Francia es el país con más plantas de incineración, con un total de 121 plantas para la quema de residuos sólidos, seguida de Alemania con un total de 96 plantas. Sin embargo, países de menor longitud territorial como Estonia e Irlanda, también le han apostado la implementación de estas tecnologías, aunque con menor cantidad de plantas.

Figura 17. Apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología Waste to energy.



Fuente: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/waste-to-energy-technologies-market>

En el caso de Norteamérica, para el año 2020 y según la agencia gubernamental estadounidense de protección al medio ambiente, U.S.EPA (Environmental Protection Agency) se exponía que “existen 86 instalaciones en Estados Unidos para la combustión de residuos sólidos urbanos, con recuperación de energía. Estas instalaciones están ubicadas en 25 estados, principalmente en el Noreste de Estados Unidos”. (Chicaiza, 2020).

Por lo general son los países de alto nivel de ingresos económicos los que han implementado tecnologías WtE integrándolo al servicio público de recolección de residuos, no obstante, cada país determina sus políticas para el manejo de los

residuos considerando los impactos que estos generan en sus localidades, el crecimiento población, la disposición de terrenos, el acceso a los recursos, la inversión destinada para este tipo de proyectos, la escases de fuentes de energía y principalmente, su compromiso con el ambiente y la sociedad. Por esta misma razón, países como China y Japón, que tienen poblaciones tan grandes, son pioneros en la implementación y masiva construcción de estas plantas, tal y como se relaciona en la figura 14.

Tabla 10. Situación de la incineración de RSU en el mundo.

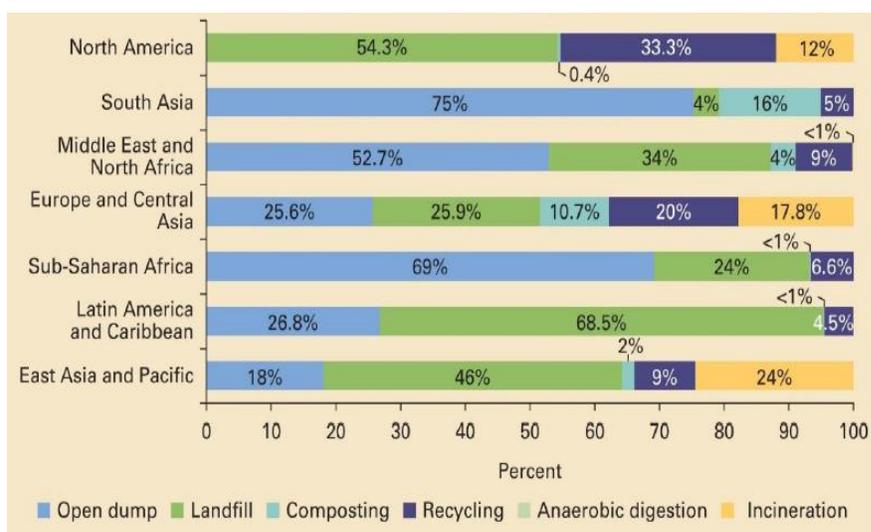
Región	Número		Capacidad total (mg / d)	Capacidad promedio (Mg / d)		Incineración de RSU (10 ³ Mg / a)	Tasa de uso (%)
	Plantas	Incineradores		Planta	Incineradores		
China (2015)	268	552	231.600	864	420	61755	80
La UE (2012)	469	917	207104	442	226	59023	85
Alemania	79	192	52554	665	274	17192	98
Francia	127	248	45334	357	183	11951	79
Países Bajos	13	42	18660	1435	444	4515	73
Italia	52	97	17825	343	184	5529	93
Suecia	34	67	14,477	426	216	2233	46 (98)
Dinamarca	29	64	10900	376	170	2307	63 (99)
De Estados Unidos (2014)	80	210	88765	1110	423	29665	100
Japón (2013)	234	551	92203	394	167	33729	110 (59)
Corea del Sur (2013)	39	72	13580	348	189	4475	99
el área de Taiwán (2006)	24	62	24650	1027	398	4036	49
Otras regiones (2013)	sesenta y cinco	144	49903	768	347	-	-
Total	1179	2508	707805	600	282	-	- 11

Fuente: Chicaiza, C., 2020

En un contexto más general, relacionando las formas conocidas de destrucción o transformación de los residuos sólidos, se puede evidenciar como refleja la Figura 13, que, en cuanto a incineración de residuos, tan sólo se aplica en Norte América

con un 12% de sus residuos tratados de esta forma, en Europa y Asia Central con un 17,8% y en el este de Asia y el pacífico con un 24%. Las formas más comunes de disposición de residuos en el mundo son los rellenos sanitarios y la disposición a cielo abierto.

Figura 18. Tecnologías Modernas para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.



Fuente: Chicaiza, 2020

5.2.5.3 Valorización energética de RSU en Colombia.

La valorización energética de RSU, desde la óptica de termovalorización consiste en aplicar energía calorífica con el fin de lograr la incineración de los residuos; cambiando sus características físicas sea para reducirlos y desecharlos o utilizándolos luego del proceso de incineración, como combustible para obtener energía. Este proceso se realiza a través de incineración, pirólisis, gasificación o plasma. (García, 2019).

Es de gran importancia que en Colombia no hay proyectos implementados de Waste to Energy, sólo hay un prototipo en San Andrés, el cual nunca estuvo en funcionamiento legal, solo se han realizado estudios de viabilidad técnica, ambiental y financiera, y se han realizado prototipos, sin embargo, aún no hay ninguna implementación, Por lo anterior, se toma como referencia, las cifras reportadas por otras plantas alrededor del mundo. Siendo así, y con base al análisis realizado por Gordon & Pineda (2003), para la isla de San Andrés, 1 tonelada de residuos sólidos incinerados, siendo esta la técnica más utilizada, genera:

- 250 kg de fuel-oil
- 45 kg equivalentes de petróleo (unid. Energía)
- 500 kw/h de energía eléctrica
- 30 tanques de agua caliente a 155° C
- 2,5 t. de vapor para procesos industriales

Según los cálculos realizados en este estudio y considerando la cantidad de residuos que se generan en la isla, en promedio la planta se proyectaría para la generación de 2614 MWh/año de energía disponible para la venta.

Tabla 11. Cuantificación de RSU en San Andrés Isla

Basura	Cantidad (Ton)1997	% (1997)	Cantidad (Ton)2000
Desechos putrescibles	19,2	27,23	28,15
Papel y Cartón	10,9	15,46	15,97
Desechos de jardín	9,6	13,62	14,08
Plásticos	8,8	12,48	12,93
Vidrio	8,2	11,64	12,06
Textiles	4,5	6,38	6,59
Metales	2,5	3,54	3,66
Madera	1,9	2,69	2,78
Tierra	4,9	6,95	7,18
Total	70,5	100	103,4

Fuente: Gordon & Pineda (2003).

Por otro lado, según el Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, el país llegó a tener un potencial energético de 450.248,22 TJ/año, provenientes de residuos de animales, vegetales y de Residuos sólidos ordinarios, siendo los residuos vegetales los mayores aportantes a estas cifras con un 73,7% de participación correspondientes a 332.04 TJ/año, seguido de los residuos animales con 26,2 que significa un potencial de 117.78 TJ/año, y finalmente, los Rso con un porcentaje de 0,1% equivalente a 421 TJ/año de potencial energético. (Hernández, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2010).

A continuación, se presenta una relación de las alternativas estudiadas en el informe de Cantanhede & Sandoval (1999) . En donde:

- FRR: Factor de reducción de Rsu (reducción de área necesaria para la disposición de los desechos)
- TIR: Tasa interna de retorno
- Recibir los Rsu: 8-10 meses
- Generar energía: 32-36 meses

Tabla 12. Comparación de alternativas (1000 tpd) (Para TIR=10% a.a. y precio de venta de energía eléctrica de US \$63 MWh

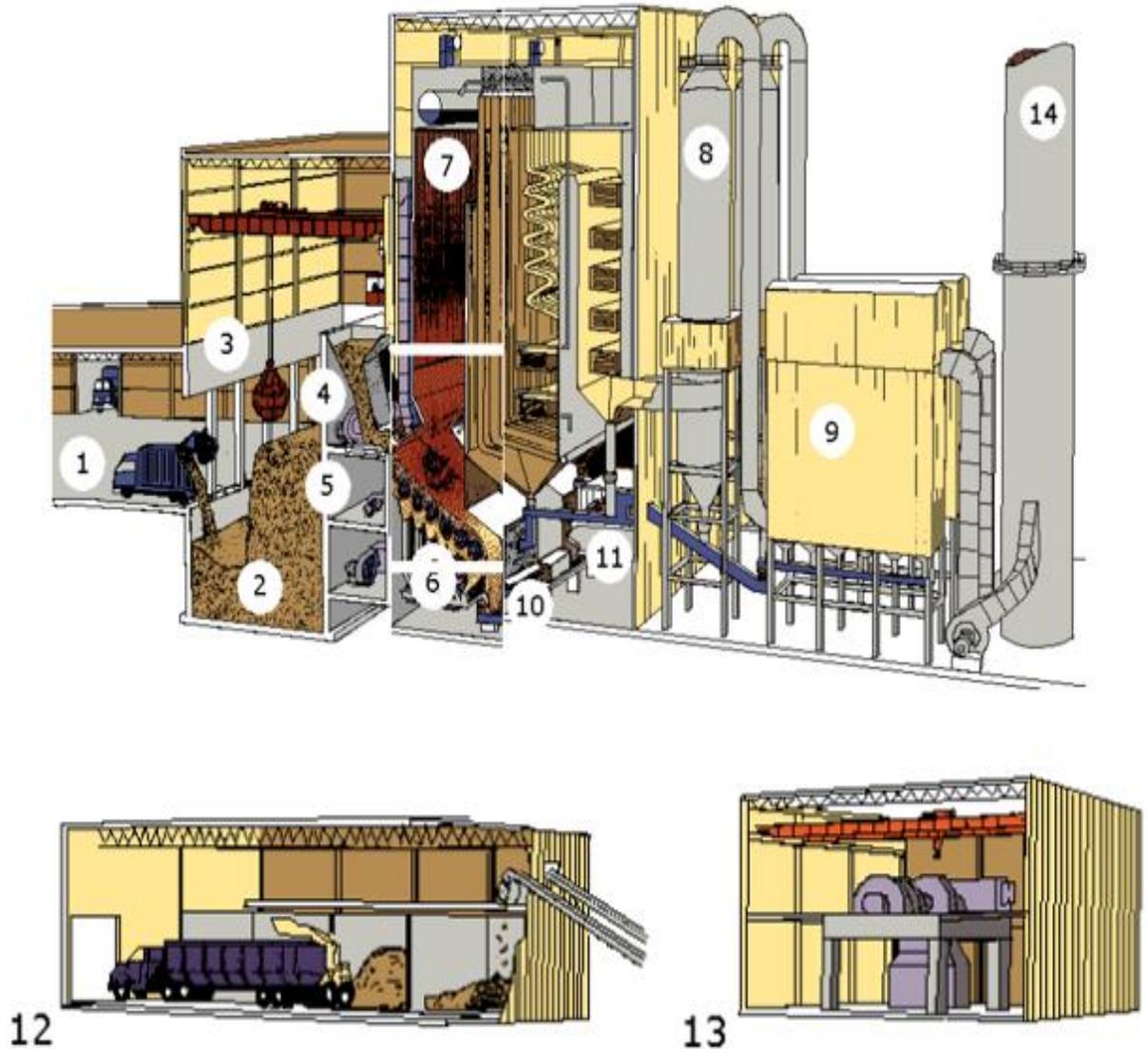
CASO	FRR (1) %	Inversión US\$ millones	Tipping Fee (US\$/t)	VENTA DE ENERGÍA		TIR (2) (%)	RECHAZO (tm/d)	PLAZO CONST. (a)
				(GWh/a)	(US\$MWh)			
Relleno sanitario con recuperación de biogás	0	8.3	8.2	25.1	63	14.9	0	0,5
	0	8.3	10.0	25.1	63	22.3		
Reciclaje y compostaje	55	12.0	8.2	0.0	0	-7.9	450	1,0
	55	12.0	10.0	0.0	0	2.7		
Biodigestión con compostaje y generación de energía eléctrica	73	45.4	8.2	33.8	63	-100	300	1,5
	73	45.4	10.0	33.8	63	-100		
Incineración con reciclaje parcial y compostaje	95	53.0	8.2	0.0	0	-100	47	1,5
	95	53.0	10.0	0.0	0	-100		
Incineración con reciclaje parcial, compostaje y generación de energía eléctrica	95	75.0	8.2	58.9	63	-12.5	47	2,0
	95	75.0	10.0	58.9	63	-9.0		
Incineración con tratamiento de RSU y generación de energía eléctrica	95	140.0	8.2	220.9	63	0.6	50	(3)
	95	140.0	10.0	220.9	63	1.3		

Fuente: Cantanhede & Sandoval (1999) .

5.2.5.4 Equipo y maquinaria.

En la imagen 19, se puede distinguir las diferentes etapas que tiene una planta de valorización energética en general, en esta se identifican las diferentes etapas por las que pasan los residuos sólidos, según lo sugieren Gordon & Pinera (2003).

Figura 19. Esquema de una planta de tratamiento de residuos para obtención de energía eléctrica



Fuente: Gordon & Pineda (2003).

Figura 20. Descripción funcionamiento Plantas de Recuperación de RSU

1. Los camiones de recolección entran en el sitio de controló y peso en la estación. 2. Los vehículos de la recolección se descargan directamente en el arcón del desecho. 3. La grúa recoge los desechos y los transfiere al arcón del deposito de alimentación. 4. El depósito de alimentación contiene el suministro listo de de desechos para depositar en el sistema de la reja. 5. El alimentador empuja los desechos sólidos hacia el rodillo más alto del rodillo reja. 6. La rotación constante del juego de rodillos y la distribución de los desechos uniformemente a lo largo de la cuesta descendente de la reja del rodillo proveen una combustión completa. La velocidad de los rodillos, la cantidad de aire proporcionado en la combustión y la velocidad del alimentador se controla para mantener las condiciones óptimas del horno. 7. Después de la combustión de los desechos sólidos en el rodillo, las cenizas caen fuera del último rodillo y son apagadas con agua en el comedero. 8. Un transportador lleva la ceniza para la recuperación de los materiales féreos y otros (optativo) y al área del almacenamiento de ceniza. Un cargador del frente- sin fin se usa para retirar y cargar la ceniza en los camiones hacia un edificio adjunto. 9. Filtros y Catalizadores. 10. El calor generado de la combustión de los desechos en la caldera produce el vapor. 11. Aproximadamente se usan 10 por ciento de la energía producidos por el generador de la turbina para operar la planta y el restante se comercializa. 12. Los gases de la combustión se dirigen al limpiador para el retiro de los gases ácidos. 13. El flujo de los gases continúa entonces a través de un sistema de colección de partículas. 14. Los gases limpios se dispersan entonces a la atmósfera a través de la torre de enfriamiento.

Fuente: Gordon & Pineda (2003).

5.2.5.5 Locación y condiciones para su implementación.

Como se menciona en el informe de Pomca, las plantas de tratamiento para los residuos sólidos a través del modelo WtE implican un espacio físico dentro del relleno sanitario, pues esto facilita procesos de desplazamiento de la biomasa a la planta, por lo que, para definir un espacio adecuado, es necesario primero identificar que el lugar sea un lugar apto para la creación e implementación de un relleno sanitario como tal. Por sus características geológicas y geográficas, algunos municipios que no serían aptos para este tipo de plantas en cuanto la disposición de sus territorios, son Medellín, Barbosa, Itagüí, la Estrella, Envigado, Copacabana y Girardota, considerando que algunos de ellos también presentan restricciones debido a que son zonas de protección ambiental.

Siendo así, es necesario abrir el panorama a otros municipios cercanos como Guarne, San Vicente o Caldas, que por sus condiciones geográficas facilitarían la creación de nuevos rellenos en los que se puedan instalar plantas de tratamiento con modelos WtE.

En general, el proyecto se puede implementar en un lugar que tenga características topográficas estables. Se debe considerar el tema del clima pues la descomposición de los residuos puede verse afectada por el clima y la humedad.

Gordon & Pineda (2003), en su investigación, mencionan que la empresa Brown Bover sugiere un diseño de planta en el que se tengan “30 mt² por tonelada diaria incinerada cuando la planta recibe menos de 500 toneladas diarias y 20 mts² cuando la planta procesa más de 500 toneladas por día”, las demás especificaciones, depende principalmente de la normatividad y legislación que hayan dispuesto las entidades gubernamentales y ambientales de cada región.

Las partes principales que se deben considerar en la implementación de este tipo de plantas son (Gordon & Pineda, 2003):

- **Exteriores de la planta:** En las que el acceso de personas y vehículos sean fluidos y coordinadas, que no generen traumatismo con vías resistentes debido al alto flujo de vehículos pesado que se tendría.
- **Interior de la planta:** Debe ser construida en materiales resistente para las condiciones de calor extremo que se tendrá, espacios aireados y amplios que permitan la circulación fluida.

- **Control de peso:** Disponer del espacio para la ubicación de pesas industriales. La plataforma puede ser de concreto reforzado o chapa de acero lagrimada.

- **Área de recepción de residuos:** El patio debe ser amplio con puertas y techos funcionales para la actividad, fosos cómodos que contengan en promedio 2 veces la capacidad de incineración del horno en 24 horas. Se acepta aproximadamente 266 metros cúbicos de volumen en plantas incineradoras grandes. Los fosos deben ser rectangulares y con drenajes y desagües eficientes.

- **Hornos:** En promedio para cada horno, el espacio total requerido para cada uno se refiere a la tasa de calor libre es de 48.816 kcal./m² del volumen del horno por hora, aunque las que se usan varían de 33.900 kcal./m² a 67.800 kcal./m² por hora. Los hornos pueden ser horizontales de celdas múltiples o verticales de cámara circular, siendo el horizontal el más utilizado.

5.2.6 Evaluación del proyecto

El análisis y evaluación de proyectos, se ha convertido en una herramienta primordial para definir la viabilidad de un proyecto, realizando el estudio de los aspectos económicos, legales, ambientales y técnicos. Apoyados en esta herramienta es posible identificar y dar un valor cuantitativo y cualitativo a los costos y beneficios que este pueda generar. Sapag N., Sapag R., & Sapag J., (2014), menciona que la evaluación de proyectos “pretende medir objetivamente ciertas variables resultantes del estudio del proyecto, las cuales permiten obtener diferentes indicadores financieros que finalmente sirven para evaluar la conveniencia económica de implementar el proyecto”.

Figura 21. Estudio de viabilidad económica

Formulación y preparación			Evaluación
Obtención y creación de información		Flujo de caja	Evaluación Sensibilización
Estudio mercado	Estudio técnico	Estudio organizacional y legal	Estudio financiero
Estudio de impacto ambiental			

Fuente: Sapag N., Sapag R., & Sapag J., (2014)

Según el autor Sapag & Sapag, el proceso de la evaluación de una idea de negocio o proyecto, se puede realizar desde unos puntos focales que determinarán la viabilidad de éste, como se relaciona a continuación:

Figura 22. Establecimiento de la viabilidad de la idea.



Fuente: Sapag N., Sapag R., & Sapag J., (2014)

5.2.6.1 Estudio de Mercado

El estudio de mercado implica no solo medir cual es el nivel de la oferta o la demanda del producto o servicio que se quiere implementar a través de la propuesta del proyecto o idea de negocio, ni se trata solo de medir o comparar precios entre otros proyectos o ideas similares. Se trata principalmente de analizar el sector en el que voy a trabajar, identificar a los clientes potenciales y el comportamiento de estos. Identificar hasta qué punto se logran satisfacer las necesidades del cliente por medio de la idea que se presenta. Identificar la necesidad real que tiene el mercado y el nicho en el que se puede establecer o al que se puede enfocar la idea. Araujo, (2008), en su cartilla práctica, define 4 etapas para la correcta elaboración de un estudio de mercado.

La primera etapa consiste en el estudio sobre el entorno, en esta etapa se debe tener presente que idea o proyecto se desea implementar y analizar y si es un mercado competitivo para lo que se pretende, comparar su tamaño e identificar cual será el posicionamiento no solo a nivel nacional sino internacional de ser el caso y de esta manera se logra establecer cual el sector objetivo. Además, Se debe indagar quienes son la competencia, a quienes venden, cuanto venden y como es su posicionamiento en el mercado.

La segunda etapa es la prueba de concepto, en la que se debe tomar la idea que se tiene, y transformarla en un concepto de negocio. Se debe definir cuál será el valor agregado que el proyecto o la idea ofrece al público, cuál será su marca o sello diferenciador para comprobar que tan bien es recibido en el mercado.

La tercera etapa es la selección del segmento que se espera impactar. En esta etapa se debe definir quién será el público objetivo al que se ofrecerá el producto o servicio que se desarrollará con el proyecto, se debe definir cómo hacer para lograr complacer a la gran mayoría con su producto y como se hace para llegarles a todos, de modo que la marca impacte el mayor público posible. En esta segmentación se deben considerar factores socioeconómicos, geográficos y psicológicos.

Por último, en la etapa 4, se deben definir las estrategias y tácticas de mercadeo. Una vez se haya identificado el segmento a impactar, se debe indagar sobre qué precio estaría dispuesto el cliente a pagar, donde compran y como compran. Se debe definir canales de comunicación eficientes a través de los cuales se pueda dar a conocer el producto. Este análisis se realiza basados en la competencia.

Es de resaltar que todas estas etapas pueden hacerse efectivas indagando con herramientas como entrevistas, encuestas, sesiones de grupos considerando que se debe definir un tamaño de la muestra, siendo las encuesta la principal herramienta para desarrollar este tipo de actividades. Considerando lo que menciona Araujo, (2008), para la realización de encuesta se debe:

1. Determinar el número de encuestas a realizar o tamaño de la muestra.
2. Diseñar el formato de la encuesta.
3. Realizar el trabajo de campo, esto es, hacer las encuestas.
4. Codificar y tabular los resultados.
5. Presentar informe final.
- 6.

Respecto al tamaño de la muestra para la aplicación de un instrumento como la encuesta, se utilizan las siguientes fórmulas generales:

$$n = \frac{N\sigma^2(Z_{\frac{\alpha}{2}})^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2(Z_{\frac{\alpha}{2}})^2}$$

$$n = \frac{N(p * q)^2(Z_{\frac{\alpha}{2}})^2}{(N-1)e^2 + (p * q)^2(Z_{\frac{\alpha}{2}})^2}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra,

σ^2 : desviación estándar (también puede utilizar la distribución binomial de p y q que representan proporciones).

$Z_{\alpha/2}$: valor crítico de la distribución normal para un nivel de confianza deseado y

e^2 : el nivel de error máximo permitido. El valor de $Z_{\alpha/2}$ se obtiene de una tabla de probabilidades de una distribución normal y se conoce como el número de errores estándar asociados con el nivel de confianza. (Espinoza, 2010).

En cuanto a la determinación de los precios, Sapag & Sapag, menciona que la forma más eficiente de calcular es a adicionando un porcentaje a los costos unitarios totales. Por lo que se indica que lo primero que se debe hacer, es calcular un porcentaje sobre el precio de venta desconocido a través de la siguiente formula:

$$Pv = jPv + Cu, \text{ simplificada con las variables desconocidas } Pv = \frac{Cu}{(1 - j)}$$

Siendo;

Pv es el precio de venta;

j, el margen sobre el precio;

Cu, el costo unitario.

Para hallar un margen sobre los costos, se debe utilizar la siguiente formula:

$$Pv = Cu + Cuh$$

Siendo h el margen sobre los costos. Como la h es desconocida, se aplica la formula así:

$$Pv = Cu (1 + h) \rightarrow \frac{dU}{dP} = 210\,000 - 2.00P$$

5.2.6.2 Estudio Técnico

Esta etapa del análisis se realiza con el fin de facilitar información que permita cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación correspondientes. Se logra la identificación de los requerimientos de fábrica para la operación y el valor de la inversión que se requiere realizar. Una vez identificados estos requerimientos, es posible analizar qué necesidad de espacio físico requiere el proyecto para su implementación. Así mismo, se podrá identificar la mano de obra requerida, y con el análisis de los costos, se podrá definir temas como el de la remuneración de los empleados. Al realizar una detallada descripción de los procesos, es posible también identificar que requerimiento de materias primas necesitan para el correcto funcionamiento y proyectar costos. En esta etapa se deben definir todos los aspectos que intervienen con el desarrollo y funcionamiento del proyecto para el proceso de producción y tecnología a implementar. (Sapag N., Sapag R., & Sapag J., 2014).

Menciona Espinoza, (2010) en su libro “Los proyectos de Inversión”, que el enfoque principal del estudio técnico es además de justificar el proceso de producción y las tecnologías requeridas, definir a partir de estos últimos, el tamaño del proyecto y

costos de operación y producción, también, el monto de las inversiones que se requiere para la ejecución del proyecto.

En cuanto a la localización de la idea de negocio o el proyecto, se debe definir la macro y micro localización de ésta considerando factores como la ubicación geográfica de su público objetivo, la normatividad, regulaciones y leyes que puedan afectar la implementación del proyecto, la topografía de la zona, accesos viales, el crecimiento y urbanidad o ruralidad de la zona, el acceso a la materia prima, entre otros. Otro aspecto para tener en consideración es el tamaño del proyecto, refiriéndose a la capacidad de producción o a la capacidad teórica del diseño. En este aspecto se debe tener presente el volumen de producción. (Espinoza, 2010)

Por otro lado, para definir el tamaño es necesario definir la cantidad a producir en función del mercado que se pretende atender. Con esta relación se puede hacer una proyección de demanda, lo que se traduce en la identificación de la planta y maquinaria requerida. Para hacer la definición correcta del tamaño del proyecto, es necesaria la elaboración de un diagrama de flujo de los procesos, en el que se identifiquen las etapas, recursos, insumos y cantidad de producto terminado. En conclusión, se debe definir el tipo de producto, el proceso que se utilizará para la producción o desarrollo, la cantidad de materia prima o insumos que se requieren, la identificación del equipo y la maquinaria, la mano de obra requerida para la producción y la definición de locación para ubicar físicamente el proyecto. (Santos, 2008).

Una vez están identificados los factores que intervienen en el proceso de producción, se debe proceder a la estimación de la Inversión. Para esto es necesario detallar todas las actividades adicionales a la operación que terminan

influyendo en el correcto funcionamiento del proyecto, esto permite no solo costear los gastos de la operación sino los costos de ingeniería, como infraestructura, aclarando siempre cual es la depreciación de la maquinaria y planta y su vida útil.

Los costos de la operación deben estar detallados y especificados, incluyendo los gastos operativos, administrativos y otros. (Ortega, Maradiegue, Zúñiga & Rodríguez, 2015).

5.2.6.3 Estudio Legal

Figura 23. Entornos legales



Fuente: Sapag N., Sapag R., & Sapag J., (2014)

Para la implementación de cualquier tipo de proyecto, es necesario estudiar todos los factores que puedan afectar el desarrollo o funcionamiento de estas. Es posible pueda cumplir con aspectos económicos, pero sin duda alguna, uno de los factores más importantes para evaluar, es el legal, en este se dan todas las disposiciones para el manejo responsable de los residuos, de los territorios y regula las actividades

para evitar en un alto nivel, la mala gestión y afectación de espacios comunes además de cuidar el ambiente y entorno en el que nos encontramos. Es por esta razón que se validan normas no solo legales sino también financieras, a continuación, se relacionan algunas de ellas:

➤ **Normativa específica para implementación de plantas WtE en Colombia.**

- **Decreto 2143 2015** Ministerio de Minas y Energía. Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014.
- **Decreto 2811 1974** Congreso de Colombia. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- **Decreto 948 1995** Congreso de Colombia. Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
- **Ley 142 1994** Congreso de Colombia. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 164 de 1995**: el artículo 12, refiere a los proyectos de reducción y absorción de los gases efecto invernadero en el marco del mecanismo de

desarrollo limpio MDL. De esta forma, las ENERGÍAS RENOVABLES, también están contempladas en el PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2010 – 2030.

- **Ley 1665 de 2013** “Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)", hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009” asume los compromisos de promover la implantación y el uso generalizados y reforzados de las energías renovables con objeto de lograr un desarrollo sostenible.
- **Ley 1665 de 2013.** (Art. 1 y 2 de la ley 1715 de 2014), determina los tipos de energías renovables, incluyendo la energía por BIOMASA, cultivada y la Biomasa proveniente de los Residuos Sólidos Urbanos. Esta ley según el Artículo 4°, es declarada de utilidad pública e interés social.
- **Ley 1715 del 13** de mayo de 2014, o Ley de Energías Renovables, tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena).
- **Ley 23 1973** Congreso de Colombia. Por el cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.

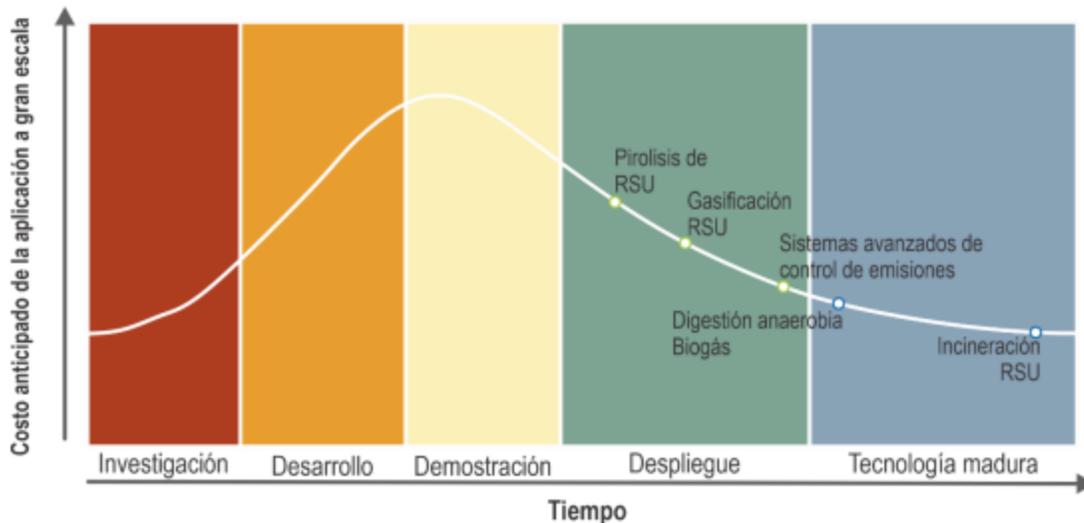
- **Ley 697 2001** Congreso de Colombia. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
- **Ley 9 1979** Congreso de Colombia. Por la cual se dictan medidas sanitarias.
- **Ley 99 1993** Congreso de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- **Resolución 58 2002** Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.
- **Resolución 619 1997** Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
- **Resolución 760 2010** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se adopta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.
- **Resolución 909 2008** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

- **Resolución 935 2011 IDEAM.** Por la cual se establecen los métodos para la evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas y se determina el número de pruebas o corridas para la medición de contaminantes en fuentes fijas.

5.2.6.4 Estudio Financiero

Los aspectos financieros hacen parte de las etapas principales a considerar dentro del estudio de viabilidad de un proyecto, pues es la razón por la que la mayoría de los proyectos no surgen. Se deben considerar todos los aspectos que representen algún tipo de ingreso o egreso económico para la empresa o para la ejecución del proyecto. Sin duda alguna, un mal manejo de estos aspectos resulta en el fracaso del proyecto y en pérdidas para las partes involucradas en el mismo.

Figura 24. Etapas de madurez comercial de las tecnologías de valorización



Fuente: Adaptado de Tan (2013)

En la figura anterior se relacionan las etapas de implementación del proyecto, y la proyección de inversión que se tendría que realizar para la aplicación y desarrollo

de este, siendo la etapa de desarrollo y demostración, las que mayor inversión de recursos requiriere a lo largo de la ejecución.

Algunos elementos fundamentales de la teoría de costos se relacionan a continuación y la definición de ellos mismos dada por el autor Sapag & Sapag:

- **Costos diferenciales:** “Expresan el incremento o la disminución de los costos totales que implicaría la implementación de cada una de las alternativas, en términos comparativos respecto a una situación tomada como base y que usualmente es la vigente”.
- **Costos futuros:** “Cualquier decisión que se tome en el presente afectará los resultados futuros. Los costos históricos, por el hecho de haberse incurrido en ellos en el pasado, son inevitables. Por lo tanto, cualquier decisión que se tome no hará variar su efecto en el costo total”.
- **Costos pertinentes por sustitución de instalaciones:** “Puede tener en cuenta tanto los aumentos como el mantenimiento de la capacidad productiva”.
- **Sustitución con aumento de capacidad:** “Puede o no influir sobre la cuantía de los gastos variables unitarios. Esto dependerá del efecto del aumento de la operación en el rendimiento técnico y del costo de los factores de producción. Si la sustitución mejora el rendimiento, los costos directos serán menores”.

➤ **Variables financieras.** En el texto “Los proyectos de Inversión”, Espinoza, (2010), describe en el proceso de análisis financiero, las diferentes etapas que

deben ser consideradas para obtener las proyecciones de costos y retornos que financieramente dejará el proyecto. Estas etapas son:

- Inversiones (activos, costos de instalación, capital de trabajo).
- Costos de producción.
- Costos de operación.
- Depreciaciones.
- Valores de recuperación de activos.
- Cálculo de indicadores financieros.
- Escenarios (variables macroeconómicas, riesgo).

El análisis financiero permite validar el potencial financiero y económico que tiene el proyecto, y si es viable y rentable o no implementarlo. Cajas, (2015) en su proyecto “Plan de negocio para la creación de una empresa productora y comercializadora de zapatos de futbol, en el cantón Quinsaloma año 2014” dice que para el análisis financiero se debe considerar aspectos como:

- **Inversión total inicial:** En esta etapa debe estar incluida la compra de todos los activos fijos o tangibles que tiene el proyecto, además de los activos intangibles que sean objeto de la operación y funcionamiento de la empresa. Definiendo según Ortiz, (2011), a los activos tangibles o fijos Como “aquellos que pertenecen a la empresa e indispensables para su funcionamiento como las mercancías, terrenos, edificios, maquinaria y equipo, etc”. Y activos diferidos o intangibles, como “son de propiedad de la empresa, los mismos que no se pueden percibir como las marcas, patentes y diseños, etc.”
- **Financiamiento:** Fernández, (2010), define el financiamiento como el “Abastecimiento y uso eficiente del dinero, línea de crédito y fondos de

cualquier clase que se emplean en la realización de un proyecto o en el funcionamiento de una empresa”. Es decir, la inversión en cuanto a dinero que se le va a hacer al proyecto para poderlo llevar a cabo, en este se define de donde saldrá el recurso, si patrimonio, créditos o financiación de empresas patrocinadoras. Se calcula a partir de la fórmula:

$$(F = P 1 + i) n$$

En donde:

F= Suma que hay que pagar

P= Cantidad prestada en el tiempo cero (o sea, cuando se recibe el préstamo).

i= Tasa de interés

n= Número de años

- **Amortización:** Definida por Núñez, (2007) como “la reducción gradual de la deuda a través de pagos periódicos por el capital prestado en préstamo más los intereses correspondientes”.
- **Presupuestos:** Considerada como “una estimación anticipada al costo de las operaciones y recursos de una empresa permitiendo comparar de manera ordenada los resultados con los datos presupuestados que son orientados hacia el futuro en un tiempo determinado”. Debe haber un presupuesto para compras y un presupuesto de ventas. (Cajas, 2015).

✓ **Proyección flujo de caja.** Cajas, (2015) refiere que el flujo de caja “se fundamenta en la coordinación de los ingresos y egresos de caja”. Contemplando entre estos los ingresos y pagos que se realizan en cierto periodo contable, estos se analizan, controlan y vigilan para evaluar el rendimiento de una empresa y

mantener la solvencia financiera de la misma. Muestra si la empresa puede o no pagar sus activos.

El cálculo del flujo de caja se hace a través de unas actividades financieras detalladas, que son las que dan muestra del desempeño económico que ha tenido la empresa. Estas son (Cajas, 2015):

- **Actividades operacionales:** Facilita información de los recibos y pagos de las actividades que se realiza en la empresa.
- **Actividades de inversión:** Se refiere a las compras, ventas de los activos fijos e inversiones realizadas en el periodo contable.
- **Actividades de Financiamiento:** Incluye los ingresos de endeudamiento o nuevas aportaciones de capital.

✓ **Estado de resultados.** Es el que determina si finalmente la actividad financiera del año generó ganancias o pérdidas, en este se ve reflejado el rendimiento económico de la empresa en su ejercicio.

Para calcular los estados de resultado, se aplica la formula (Cajas, 2015):

$$\text{Ingresos} - \text{Gastos} = \text{Utilidades}$$

✓ **Balance general.** Relaciona la información financiera de la empresa. Sus activos y pasivos a corto y largo plazo y su patrimonio.

Es en sí, un resumen de la operación de la empresa en un periodo de tiempo determinado, en la que los activos son iguales a lo que corresponde por patrimonio más los pasivos. (Fuentes, 2017).

✓ **Punto de equilibrio.** El punto de equilibrio está diseñado para demostrar la relación entre los costos y los ingresos en diferentes niveles de producción y ventas y se determina por las formula: (Sapag N., Sapag R., & Sapag J., 2014).

$$R = pq - vq - F,$$

Donde:

R = es la utilidad;

P = el precio;

Q = la cantidad producida y vendida;

V = el costo variable unitario o **CVMe** y

F = los costos fijos totales.

Para determinar la cantidad de equilibrio (en la que ni se gana ni se pierde), puede aplicarse la fórmula:

$$q = \frac{F}{P - V}$$

El apalancamiento operacional (AO) o elasticidad de las ganancias que es la relación entre costos fijos y variables, mide el cambio porcentual de las utilidades totales frente a un aumento en la producción y las ventas. Se calcula con la fórmula:

$$AO = \frac{q(P - V)}{q(P - V - F)}$$

✓ **Índices Financieros.**

- **Valor actual neto (VAN).** “Es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable”.
- **La tasa interna de retorno (TIR).** “Es la tasa de rendimiento para medir y comparar la rentabilidad de los proyectos o las inversiones y facilita la comparación para la toma de decisiones. Cuanto mayor sea la tasa interna de retorno de un proyecto, más factible será llevar a cabo el proyecto o permitirá la decisión entre alternativas”.

El valor presente neto que se puede medir usando la siguiente formula:
(Cajas, 2015):

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Dónde:

t = tiempo del flujo de caja

i = tasa de descuento (la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en los mercados financieros con un riesgo similar).

Re = flujo neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas) en el tiempo t. Para los propósitos educativos, R0 es comúnmente colocado a la izquierda de la suma para enfatizar su papel de (menos) la inversión.

- **ROE.** Es un indicador y se define como la rentabilidad financiera y se relaciona el beneficio económico con los recursos necesarios para obtener ese lucro. La rentabilidad financiera (ROE) se calcula así: (Masgrau, 2005):

$$ROE = \frac{\text{Beneficio neto después de impuestos}}{\text{Fondos propios}}$$

- **Indicadores de eficiencia.** Relaciona el costo de los insumos y el producto en proceso para determinar la productividad con que se administran esos recursos para el cumplimiento de los objetivos. Los indicadores de eficiencia miden el nivel de ejecución del proceso (Cajas, 2015).
- **Apalancamiento.** El apalancamiento financiero o nivel de endeudamiento, es el que analiza que proporción de la inversión está financiada por los pasivos y ofrece un dato representativo del riesgo financiero potencial, de este modo un alto apalancamiento financiero representa un mayor riesgo, por lo tanto, los niveles aceptables de apalancamiento dependen de cada caso y deberán determinarse comparando con otros casos similares como referencia. (Masgrau, 2005).

$$\text{Apalancamiento} = \frac{\text{Deuda a largo plazo}}{\text{Deuda a largo plazo} + \text{capital accionario} + \text{reservas}} \times 100$$

- **Rotación de activos:** Es una medida que permite examinar la intensidad del capital y de allí se observa el nivel de activos que respaldan la operación. De esta manera, un negocio que requiere una menor cantidad de base de activos para operar con los mismos ingresos será más atractivo que un negocio que requiere una mayor base de activos. (Cajas, 2015):

$$\text{Rotacion de activos} = \frac{\text{ventas}}{\text{activos operativos netos}}$$

Los activos operativos netos se definen como el total de los activos fijos y de los activos corrientes netos.

✓ **Costos de operación.** Los costos de operación hacen referencia a los “costos financieros necesarios para adquirir los recursos que se ocuparan en el proceso de producción del proyecto, para lo cual es necesario proyectar estos costos durante su vida útil o según el período de evaluación financiera que tendrá el proyecto”. (Ortega, Maradiegue, Zúñiga & Rodríguez, 2015). Están dados por la fórmula:

$$\text{CFT} = \text{Qff} \times \text{Pm}$$

$$\text{CVT} = \text{Qfv} \times \text{Pm}$$

$$\text{CTP} = \text{CFT} + \text{CVT}$$

Donde:

CFT = costo fijo total

Qff = cantidad de factores fijos

Pm = precio de mercado

CVT = costo variable total

Qfv = cantidad de factores variables

CTP = costo total del proyecto

Cu = costo unitario

Qp = cantidad de producción

Con esta fórmula, es posible determinar el costo por unidad de producción:

$$\text{CTP}/\text{Qp} = \text{Cu}$$

✓ **Análisis de sensibilidad.** El análisis de sensibilidad de un proyecto de inversión es una de las herramientas que proporciona la información básica para tomar una decisión acorde al grado de riesgo que decidamos asumir (Pérez, 2012). Para tales efectos podemos identificar los posibles escenarios del proyecto de inversión así:

- **Pesimista:** siendo el peor panorama para la inversión, es decir, es el resultado en caso del fracaso total del proyecto.
- **Probable:** es el resultado más probable que se supusiera en el análisis de la inversión, teniendo en cuenta que debe ser objetivo y acorde a la información real del proyecto.
- **Optimista:** sería el mejor de los escenarios y normalmente es el que se presenta para motivar a los inversionistas a correr el riesgo para alcanzar dicho resultado.

✓ **Definición de metas.** En función a la oferta, se debe hacer la proyección de producción que se debe llevar al mercado, dadas las cantidades demandadas y precios en este. La oferta está definida por la función:

$$O = f(M, P_x, T, P_f, C, P_e)$$

Siendo:

M: Metas y objetivos del proyecto

P_x : Precios del bien o servicio

T: Tecnología

P_f : Precio de los factores de producción

C: Factores climatológicos

Pe : Política económica

Ortega, Maradiegue, Zúñiga & Rodríguez (2015), sugieren que las metas y objetivos del proyecto, están asociadas principalmente con la proporción del mercado al cual se pretende llegar, es decir la demanda de los productos.

5.2.6.5 Estudio Ambiental

En la etapa del estudio ambiental, es necesario validar todas las normativas y regulaciones que hayan relacionadas con la implementación del proyecto. Es posible que el proyecto cumpla con todas las condiciones a excepción de la ambiental y esto puede frenar el desarrollo de este, se puede incurrir en multas y sanciones económicas y hasta en el decline del proyecto. Esta etapa por lo general se desarrolla luego de haber determinado la factibilidad técnica y financiera. Esta etapa va de la mano de la etapa de estudio legal.

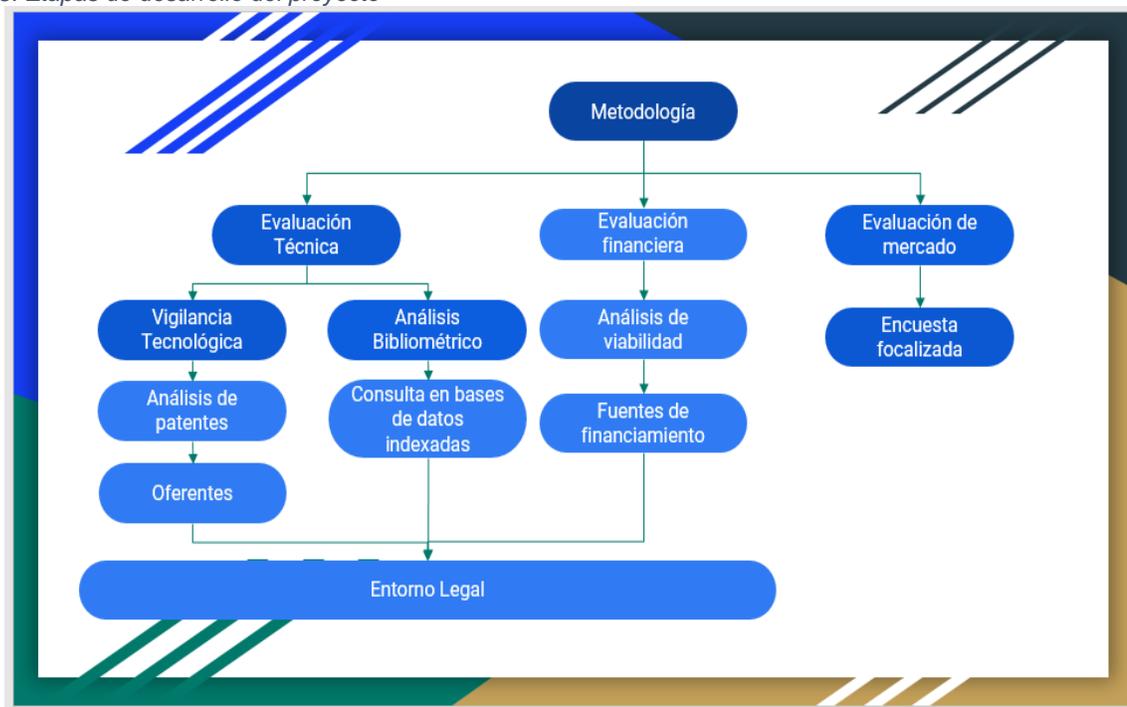
En conclusión, antes de plantear un proyecto, es importante validar a modo general la viabilidad ambiental del mismo con el fin de no detener la implementación de este. En este se identifican los efectos e impactos que el desarrollo de este genera en el medio ambiente y su entorno.

6. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR

6.1 ETAPAS DEL PROYECTO

La investigación se desarrollará en tres fases, una de estudio técnico, una de estudio de factibilidad económica y una de mercadeo en la que se incluye el diseño y aplicación del instrumento y levantamiento de la información, finalmente se realiza un análisis de los resultados y elaboración de conclusiones.

Figura 25. Etapas de desarrollo del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Fase 1. Análisis técnico. En el análisis técnico se analizan aspectos como la vigilancia técnica y el análisis bibliométrico. Se realiza el levantamiento de toda la

información previa y de contexto de acuerdo con la situación en estudio, conforme a los siguientes pasos:

- a)** Búsqueda de investigaciones previas relacionadas con la implementación de plantas de transformación de residuos sólidos a nivel Colombia y nivel Mundial, donde se identificarán los propósitos o situación problema, referentes conceptuales, el tipo de estudio, los sujetos objeto de estudio, el diseño de investigación, los instrumentos de recolección de la información y los principales hallazgos y resultados, que puedan servir como antecedente para proyectar la implementación de tecnologías WtE en el relleno sanitario La Pradera.

El proceso de recolección de la información se realiza principalmente a través de fichas en la que se consigna la información investigada recurriendo a fuentes complementarias de información como videos, artículos científicos, monografías, tesis, investigaciones, noticias, entre otros. Adicionalmente se realizará la consulta de información del funcionamiento y requerimientos técnicos de una planta WtE con asesor conocedor del campo.

- b)** Abordaje de los conceptos para lograr un enfoque teórico sobre las dinámicas y particularidades propias del proceso del manejo de residuos sólidos y la implementación de tecnologías de transformación de residuos en energía, general y específico de Colombia y la ciudad de Medellín, recurriendo a fuentes bibliográficas. Se realiza la consulta de las implicaciones de maquinaria, planta y equipo basados en estudios técnicos realizados para Colombia, y las implementaciones de plantas en el mundo, además de la revisión y estudios de patentes. (ver anexo 1. Patente WtE)

- c) Revisión documental de la normatividad vigente ambiental y territorial para la implementación de este tipo de plantas de tratamiento en el país.

Fase 2. Análisis Financiero. Una fase posterior, consistirá en realizar el estudio de factibilidad económica considerando aspectos, desde los ámbitos operacional, comercial, técnico, legal y ambiental. Para ello se acudirá al diseño de los instrumentos de recolección de la información y su aplicación a los sujetos participantes y a las fuentes de información descritas para el levantamiento de la información en cada uno de los ámbitos.

La distribución de los costos de capital para la implementación del proyecto se realizará basados en la siguiente tabla, en la que se relaciona el concepto y el porcentaje de capital que se debería invertir:

Tabla 13. Distribución de los costos de capital

Concepto	Porcentaje de inversión	\$
Tecnología (Equipos eléctricos, equipos de gas y calefacción, tecnología de alimentación y pretratamiento)	41%	
Evaporador	18%	
Unidades CHP	13%	
Obras civiles	16%	
Edificio de recepción y tratamiento de aire	4%	
Instalaciones eléctricas	4%	
Planeación	1%	
Tramites, seguros y consultorias	1%	
Otros	2%	

Fuente: Perilla & Pongutá, (2021).

Las variables para estimar los costos e ingresos del proyecto se relacionarán en una tabla como la siguiente:

Tabla 14. Modelo para estimar costos e ingresos

Variables consideradas en el modelo	Unidades	Rangos considerados		
Costos de capital considerados	% anual	6,0	-	10,0
Aportes al capital de los dueños	%	0,0	-	50,0
Costos de capital considerados por planta y por año	million US \$	1,0	-	5,1
Depreciación	años	25,0	-	25,0
Depreciación anual por planta	million US \$	2,2	-	3,0
Costos mantenimiento	million US \$	2,8	-	3,7
Costos de personal y operativos anuales por planta	million US \$	0,6	-	0,6
Costos de combustibles anuales (GN)	million US \$	0,0	-	5,7
Costos de combustibles anuales (Carbón)	million US \$	0,0	-	2,5
Costos totales anuales incluyendo financieros y depreciación	million US \$	7,6	-	17,2
Precios necesarios de venta de electricidad para balance	Col \$/kwh	109	-	447
Precios necesarios de venta de electricidad para balance	US \$/kwh	0,030	-	0,124
Costo recibido por recepción	Col \$/kg residuo	32	-	65
Precios necesarios de venta de electricidad para balance	Col \$/kg residuo	431	-	1945
Margen operativo	Col \$/kg residuo	55	-	201

Fuente: Posada, E. (2020).

La rentabilidad financiera del proyecto será aplicada a través de la formula:

$$ROE = \frac{\text{Beneficio neto después de impuestos}}{\text{Fondos propios}}$$

Los costos relacionados con la operación del proyecto se calculan a través de la formula:

$$\text{Costo Fijo Total} = Q_{ff} \times P_m$$

$$\text{Costo Variable Total} = Q_{fv} \times P_m$$

$$\text{Costo Total Proyecto} = CFT + CVT$$

Con:

Qff = cantidad de factores fijos; **Pm** = precio de mercado; **Qfv** = cantidad de factores variables; **Cu** = costo unitario; **Qp** = cantidad de producción. Y con **CTP/Qp** = Cu para calcular el costo por unidad de producción.

La proyección de producción está definida a través de la formula $O = f(M, P_x, T, P_f, C, P_e)$

Por último, la tasa de retorno (TIR), se dará usando la formula:

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Donde:

t = tiempo del flujo de caja

i = tasa de descuento (la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en los mercados financieros con un riesgo similar).

Re = flujo neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas) en el tiempo t. Para los propósitos educativos, R0 es comúnmente colocado a la izquierda de la suma para enfatizar su papel de (menos) la inversión.

Fase 3. Estudio de mercado. Se pretende realizar un análisis de mercado en el que se logre identificar la concepción que tienen un grupo focalizado de personas profesionales o que estén relacionadas con el campo educativo, respecto al concepto de Residuos sólidos Urbanos y el uso de las tecnologías Waste to Energy. El fin, es ver que tanto conocimiento tienen las personas “estudiadas” de estos conceptos e identificar cual será la forma correcta para abordar y mostrar los beneficios que tiene el producto final que será la energía que se genera a partir de los residuos.

El instrumento para utilizar será la aplicación de Encuestas (ver anexo 1). Dirigida a una población de aproximadamente 100 personas, a través de la cual se pretende segmentar el sector a partir de su nivel de formación principalmente. Con los resultados de esta, se proyectará el punto focal a intervenir para que el proyecto impacte y que sea efectivo.

La proyección es a aumentar el consumo de energías sustentables a partir de tecnologías no convencionales.

Las preguntas de la encuesta fueron elaboradas a partir de la revisión documental existente sobre implementación de plantas de Waste to Energy y fuentes secundarias. Considerando que en Colombia aún no hay plantas WtE en funcionamiento legal, se toma como referencia la información documental de las plantas instaladas en el resto del mundo.

Fase 4. Resultados, conclusiones y observaciones. Será la etapa en la que se implementan todas las estrategias relacionadas en el marco teórico con los resultados donde se procederá al análisis de la información, planteamientos de hallazgos y establecimiento de conclusiones acerca de la viabilidad económica de la implementación de una planta WTE en el relleno sanitario la Pradera.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE METODOLÓGICO

6.2.1 Tipos de Investigación según el alcance.

Según el nivel de alcance y profundización de acuerdo con el objetivo general de la presente investigación y una vez conocido el objeto de estudio alrededor de la implementación de una tecnología existente como lo es la de WtE, se establece un tipo de investigación EXPLICATIVA. Se hace necesario hallar y explicar las causas y factores que impactan positiva o negativamente la viabilidad económica de la implementación del proyecto WtE en el relleno sanitario de la pradera. En términos del grado de manipulación de las variables consideradas no experimentales, no se realiza la manipulación directa de las variables y solo se observan las variables describiendo la situación tal como se presenta en la realidad del contexto donde se prevé su implementación.

6.2.2 Tipos de Investigación según el enfoque.

El enfoque y el tipo de datos usados en la investigación se considera Mixto (cualitativo y cuantitativo), con el fin de poder analizar variables de ambas naturalezas en los frentes económicos, Técnicos, sociales, ambientales y sociodemográficos.

7. RECURSOS DEL PROYECTO

Tabla 15. *Proyección de recursos*

Recursos	Descripción	Presupuesto
Humanos	Asesoría de consultor experto en el tema	
Técnicos	Formulario personalizable en línea	Sin costo
	Licencia software Project manager para administrar el proyecto	
	Equipo de computo	
Operativos		

Fuente: *Elaboración propia*

8. RESULTADOS

8.1 RESULTADOS OBJETIVO 1

- ✓ **Describir el proceso técnico de generación de energía a través de plantas WtE, para contextualizar e identificar oportunidades de implementación.**

En el numeral 5.2.5 se realiza la descripción del funcionamiento general de las plantas con Tecnologías Waste to Energy. El enfoque principal de este proyecto es la generación de energía eléctrica a través de los procesos de pirólisis, combustión y gasificación, considerando que en estas plantas es posible realizar otro tipo de procesos bioquímicos, biológicos y mecánicos, de los que también se puede obtener biocombustibles y calor para el aprovechamiento en diferentes actividades específicas.

Para comprender lo que conlleva la implementación de plantas de transformación de energía en Colombia, es necesario contextualizarse en el tema energético del país. Principalmente se debe tener en consideración la capacidad calorífica de los residuos a disponer en la planta de tratamiento, de ello depende el potencial de generación de energía de estos. Basados en la información que relaciona Gordon, & Pineda, (2003), se relaciona el poder calorífico general de los residuos sólidos urbanos en Colombia

Tabla 16. Poder calorífico superior de los RSU

MATERIAL	PCS (Kcal/Kg)
Textiles	4.251
Madera y follaje	4.206
Restos de alimentos	3.314
Plástico, caucho y cuero	7.982
Metales	70
Vidrio	36
Suelo y otros	0

Fuente: Gordon, & Pineda, (2003).

Para el tratamiento térmico de los Rsu, se puede dividir en diferentes etapas o áreas funcionales la planta (Mancebo, 2019).:

1. Área de recepción, almacenamiento y alimentación de RSU:

- Recepción de residuos: zona de pesaje y arco de detección de materiales radiactivos.
- Foso de residuos y nave de descarga de camiones.
- Puentes grúa y tolvas de alimentación.

Cuando los residuos llegan a la planta a través de los carros recolectores de basuras que desplazan los residuos desde los vasos del relleno sanitario, estos carros son sometidos a un pesaje para validar la cantidad de residuos dispuestos además se someter a los residuos a un escaneo con el arco de detección que identifica y retira materiales que no deben estar en el proceso. (Mancebo, 2019).:

El foso está destinado para la disposición de los residuos que cumplen las condiciones necesarias para clasificación. Allí ingresan los vehículos que fueron pesados y disponen los Rsu y por medio de la grúa pulpo, se alimentan las tolvas

de alimentación del horno, además de mezclar lo dispuesto en los fosos. (Mancebo, 2019).:

Figura 26. Zona de pesaje y arco de detección de materiales radiactivos, Foso y Puente grúa-pulpo

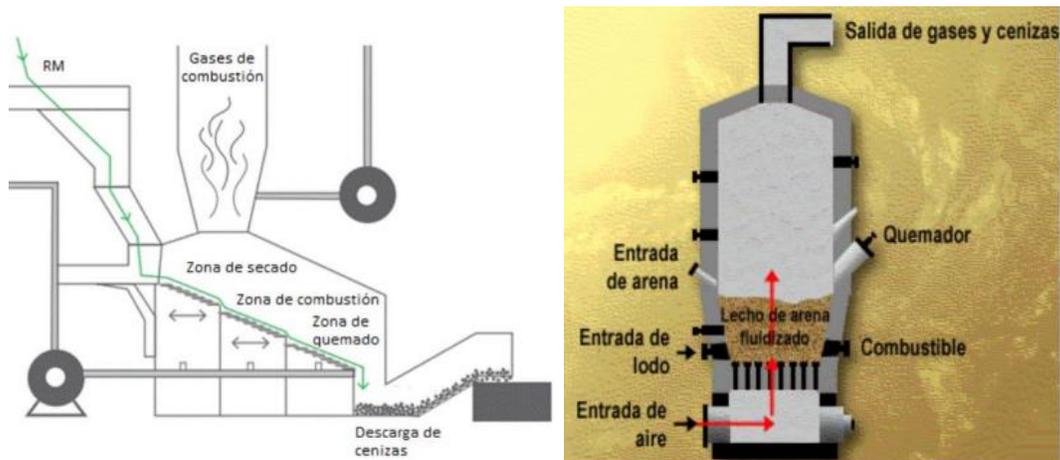


Fuente: Mancebo, (2019)

2. Sistema de incineración: Conformado por el conjunto horno-caldera.

Es la etapa del proceso más determinante de la transformación. En el horno lleva a cabo el proceso de la quema y la obtención del calor. Los sistemas de incineración más utilizados son el de parrillas móviles de cinta sin fin y de rodillos, hornos rotatorios y el de lechos fluidizados. (Melano, Saccon, & Vergini, 2018).

Figura 27. Equipos con parrillas móviles de rodillos y equipo de lecho fluidizado



Fuente: Melano, Saccon, & Vergini, (2018).

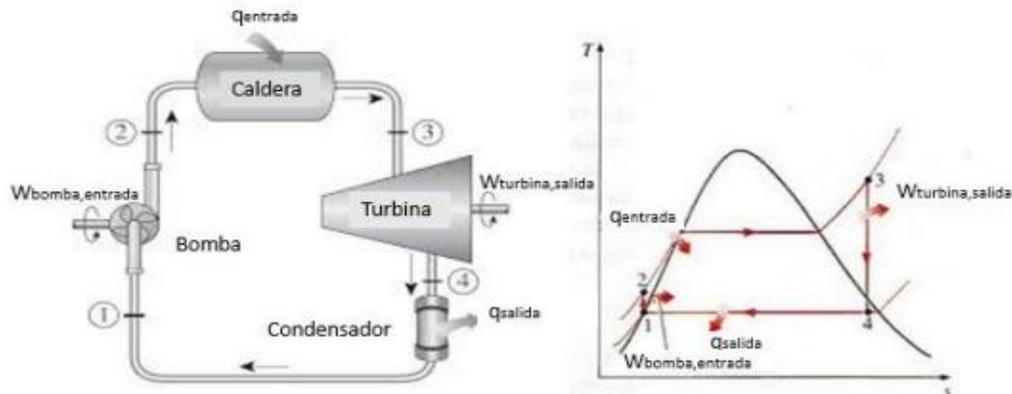
3. Generación energía eléctrica:

- Ciclo Rankine.
- Tratamiento del agua.
- Alternador y parque de alta tensión.

El ciclo Rankine hace referencia al ciclo termodinámico que realizará la planta para poder generar la energía a partir de calor. En este se realiza el intercambio de calor entre los gases resultantes y el fluido de agua. El ciclo es realizado a través de 4 equipos; la caldera, la turbina, el condensador y una bomba, así (Mancebo, 2019):

- En el proceso 1-2 se aumenta la presión del líquido mediante la bomba, a la que se aporta un pequeño trabajo exterior.
- El proceso 2-3 es una transmisión de calor hacia el fluido de trabajo a presión constante en la caldera. Con este calor se evapora todo el líquido y se calienta el vapor hasta la temperatura máxima.
- El proceso 3-4 se trata de una expansión adiabática en la turbina desde la presión de la caldera hasta la presión del condensador, generándose de esta forma energía mecánica.
- El proceso 4-1 consiste en refrigerar el vapor de trabajo a presión constante en el condensador hasta el estado de líquido, para iniciar de nuevo el ciclo.

Figura 28. Ciclo Rankine simple y diagrama T-s



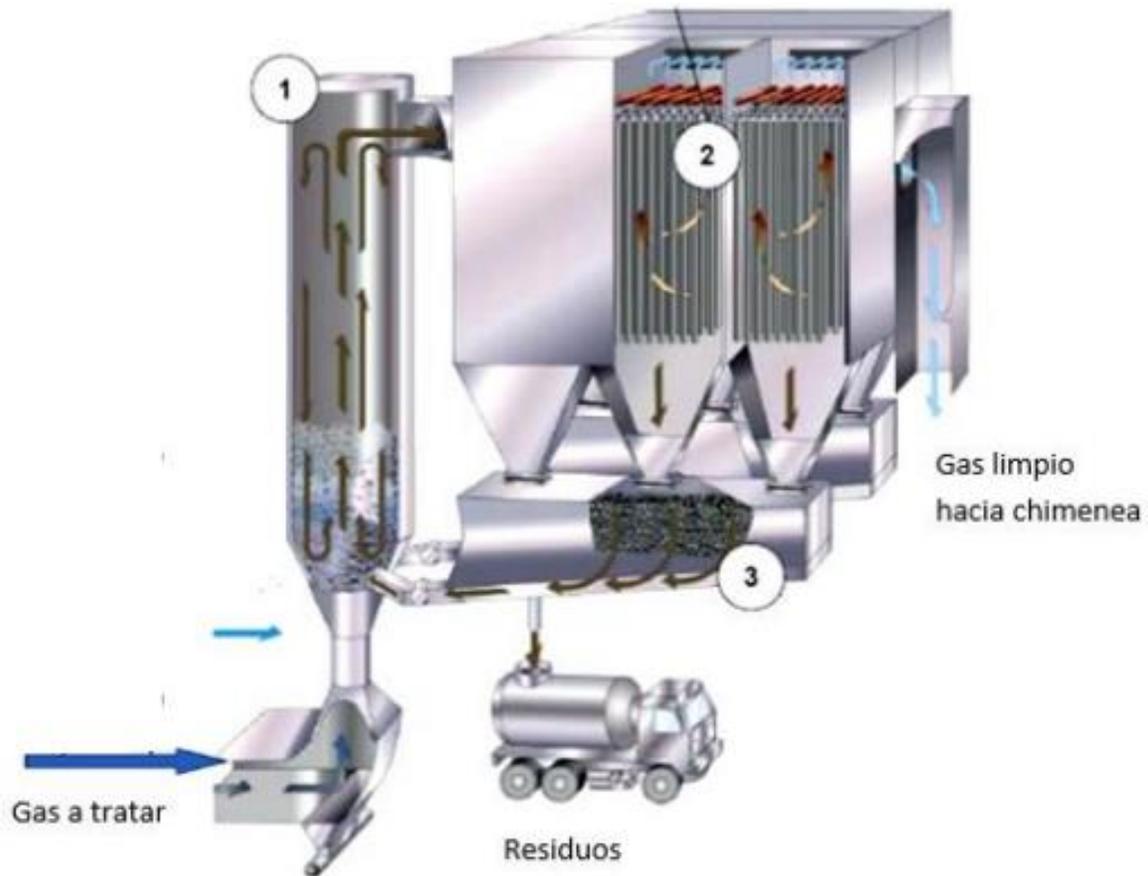
Fuente: Mancebo, (2019)

Para el tratamiento del agua se debe contar con una estructura en el que se pueda realizar el tratamiento del agua que alimenta la caldera. De allí también se debe abastecer el suministro de agua para dos tanques de almacenamiento de agua, uno para disponer el agua bruta antes de ser tratada y otro para la disposición del agua ya desmineralizada. El alternador y el parque de alta tensión son dispuestos a la salida de la turbina para la generación de la energía. Este no sólo la genera, sino que también la distribuye. El parque es utilizado para el almacenamiento sostenible de la energía generada en la planta. (Mancebo, 2019):

4. Tratamiento de gases:

1. Sistema de desnitrificación "SNCR".
2. Reactor.
3. Filtro de mangas.
4. Evacuación de gases de combustión

Figura 29. Sistema semiseco de tratamiento de gases



Fuente: Mancebo, (2019)

Luego de que los residuos pasan por las etapas anteriormente mencionadas, se debe dar manejo adecuado a los gases generados en dichas etapas del proceso, para ello están dispuestos en la planta el sistema de desnitrificación, el reactor, el filtro de mangas y la evacuación de gases de combustión. Con estos equipos se realizan diferentes actividades de aprovechamiento y transformación de estos residuos de la combustión, y en caso de no tener ningún tipo de aprovechamiento, se realiza la limpieza de los factores contaminantes para ser dispuestos en la atmósfera de forma segura y con la menor afectación posible a los ecosistemas.

En cuanto a la ubicación de la planta, esta se proyecta para implementarse en el relleno sanitario La Pradera cerca a alguno de los 5 vasos.

Figura 30. Relleno sanitario La Pradera



Fuente: Tomado de <https://www.elcolombiano.com/antioquia/extienden-vida-util-del-relleno-la-pradera-GG14474570>

Identificado el relleno sanitario en el que se instalará la planta y el requerimiento de planta y equipo para la puesta en marcha de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos, podemos calcular el tamaño de esta a teniendo como referencia los aspectos que a continuación se relaciona:

Figura 31. Cálculo de áreas - Plantas de biogás

Parámetro	Unidad	Valor			Observación
		550	2.000	3.500	
Caseta y área de pesaje	m ²	40	44	48	Incluye portería y caseta
Vía de acceso entrada (Ancho 8 m de doble carril, con berma)	m ²	200	250	300	
Plataforma de descarga y patio de maniobras RSOU	m ²	180	180	180	
Plataforma de descarga y patio de maniobras otros residuos	m ²	0	270	405	
Foso de descargue VERDES	m ²	0	1.256	2.542	

Área de bodega para pretratamiento de RSOU					
Foso de descargue	m ²	523	523	523	
Rompedora de bolsas	m ²	50	50	50	Incluye área para rechazos
Separador magnético	m ²	62	62	62	Incluye área de manejo de residuos
Banda horizontal para clasificación	m ²	70,2	70,2	70,2	Incluye área de operación de personal y vagones
Picadora de orgánicos	m ²	69	69	69	
Almacén de fardos	m ²	104	104	104	
Áreas de circulación bodega	m ²	220	220	220	
Tanques de homogenización	m ²	713	3.003	5.346	
Tanques de fermentación	m ²	2.773	13.000	21.667	
Tratamiento de biogás	m ²	50	50	50	
Generación eléctrica	m ²	25	25	25	
Área administrativa y de servicios	m ²	50	55	60,5	
Área para parqueo de particulares	m ²	60	70	80	
Área para parqueo de vehículos recolectores para VERDES	m ³	0	288	576	
Bodega de materiales e insumos	m ²	60	66	73	
Vías de circulación internas y maniobras	m ²	800	880	968	
Áreas de vestieres y servicios empleados	m ²	43	47	52	
Área ronda de aislamiento (Ancho = 20 m)	m ²	6.244	11.477	14.636	
Área zonas verdes (5 %)	m ²	617	1603	2.405	
Área total requerida	m ²	12.953	33.662	50.512	
	ha	1,30	3,40	5,10	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018

8.2 RESULTADOS OBJETIVO 2

- ✓ **Identificar las limitaciones actuales existentes para la implementación de una planta Waste to Energy en Colombia.**

Como para todo proyecto o idea de negocio, es necesario validar la legislación y reglamentación vigente para su implementación y desarrollo. En el caso de la

implementación de Plantas de aprovechamiento de residuos sólidos, no sólo debe tener en cuenta aspectos ambientales y legales (ver numeral 5.2.6.3 Estudio legal), sino también los sociales y financieros que hay.

En este caso específico es importante resaltar que las principales barreras que han tenido que enfrentar quienes han intentado implantar en el país este tipo de modelos, ha sido sin duda la barrera cultural además de los altos costos de inversión, este último, debido a que no se cuenta con un doliente que se apersona del funcionamiento de ellas, caso tal, el de San Andrés y la planta de tratamiento que nunca entró en funcionamiento debido a malos manejos administrativos de los entes gubernamentales. La planta fue desarrollada y finalizada, pero nunca se definió el proceso para el manejo y separación de los residuos que allí deben disponerse, lo que conlleva a que no se pudiera utilizar de manera correcta.

Es un aspecto demasiado relevante en la cultura de un país como Colombia, en el que los recursos económicos no son asignados de manera efectiva y los pocos recursos asignados, no son ejecutados de la forma en la que debe hacerse. No hay un compromiso real con la gestión de la sostenibilidad del país, por lo que las normativas que hay para el manejo, generación, control y disposición de residuos, es casi nula y poco tomada en serio por la ciudadanía. A raíz de estas situaciones reiterativas, principalmente los actores ambientalistas, promueven campañas de concientización, en las que se pretende enseñar a la ciudadanía que el manejo y futuro de calidad de vida de cada uno, está en sus propias manos y en la responsabilidad social y ambiental que cada uno tenga.

Otro tipo de entidades de fondos privados y sin ánimo de lucro, se han unido al llamado para buscar alternativas y soluciones a la situación de generación desmedida de residuos en el país, por lo que se asocian a estrategias de financiamiento económico buscando el bien común de la sociedad, muchas veces

como una labor social en pro del bienestar y la mejora de la calidad de vida. Sin embargo, no se puede dejar de desconocer que financieramente y considerando las condiciones geográficas y demográficas de Colombia, la implementación de este tipo de planta sobre pasa en gran medida en aspectos financieros, a otras estrategias que quizás no sean tan amigables con el entorno, pero que finalmente resuelve de una u otra forma el problem, así sea a corto o mediano plazo.

8.3 RESULTADOS OBJETIVO 3

- ✓ **Evaluar los factores que impactan la viabilidad para la implementación de una planta WtE destinada al aprovechamiento energético de los RSU dispuestos en el relleno sanitario La Pradera.**

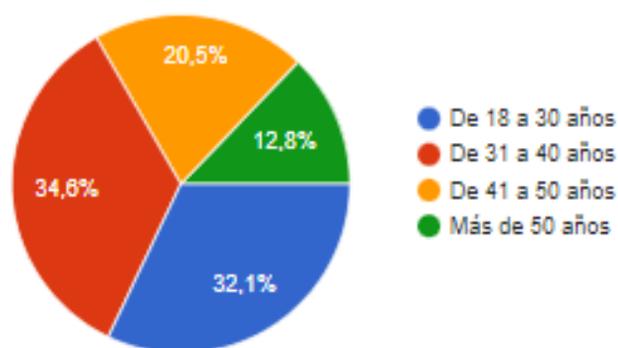
En la fase de la evaluación del proyecto, se debe considerar los aspectos técnicos (descritos en el numeral “Resultados, objetivo 1” y el numeral 5.2.6.2), los aspectos legales y ambientales relacionados y descritos en el numeral 5.2.6.3, un estudio de mercado que se relaciona a continuación, y posterior a esto, un análisis financiero que determinará la viabilidad desde diferentes aspectos, para implementar esta planta de WtE en el relleno sanitario La pradera.

Para el desarrollo de la etapa de mercadeo, se ha desarrollado una encuesta que se dirige principalmente a personal con un nivel académico superior al nivel bachiller o secundaria. Se tomo como grupo focalizado este público, debido a que el tema a desarrollar implica conceptos más técnicos que por lo general no son de manejo común entre la comunidad. Conceptos como el de transformación de residuos, waste to energy, pirolisis, combustión y combustión. Inicialmente se pretendía tener una muestra de 100 personas, sin embargo, de ellos respondieron 78 personas en

total. A continuación, se relacionan algunas de las respuestas más significativas de la encuesta realizada a la comunidad educativa:

Figura 32. Rango de edad de los encuestados

2. Rango de edad:



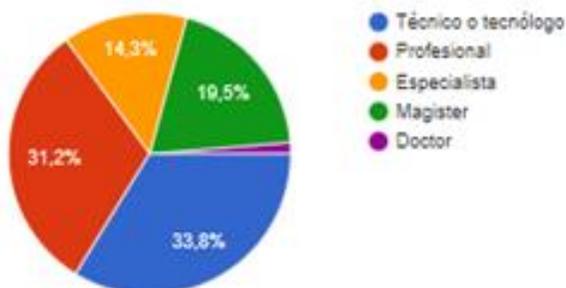
Fuente: Elaboración propia

Es posible evidenciar que aproximadamente el 66% de las personas encuestadas tiene entre 18 y 40 años. Es un dato significativo, pues según las cifras del Dane, en este rango de edad está la mayoría de la población del país. Esto implica que, de implementarse estrategias para mejorar las situaciones ambientales enfocadas a este sector, la acogida puede ser más significativas.

Por otro lado, en cuanto al nivel de formación, aproximadamente el 65% de los encuestados tiene un nivel entre técnico y tecnólogo, es decir, que la mayoría de la población se encuentra en proceso de formación, de los niveles básicos de profesionalización, siendo este el estándar.

Figura 33. Nivel académico de los encuestados

4. Su nivel de formación es:

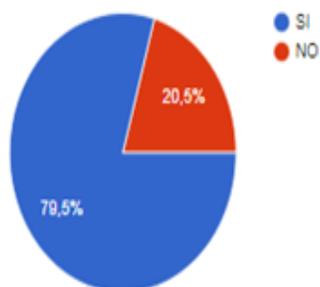


Fuente: Elaboración propia

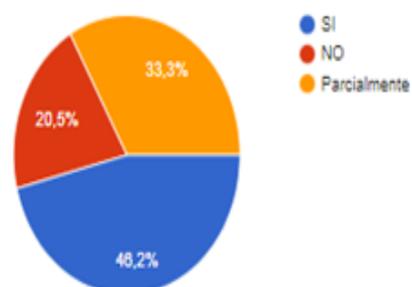
Una vez identificado el público, es posible sacar deducciones e interpretar el por qué de la respuesta que estos han dado a las preguntas. .

Figura 34. Percepción concepto de RSU

5. ¿Conoce el concepto de RSU (Residuos Sólidos Urbanos)



6. ¿Está familiarizado con la temática de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos?

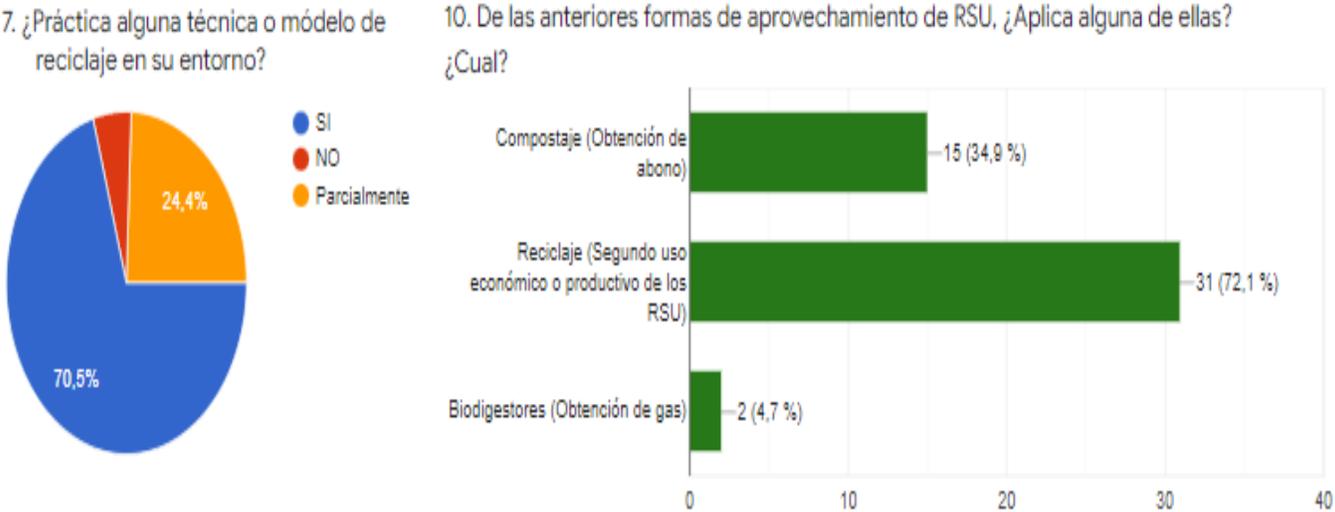


Fuente: Elaboración propia

Si bien la mayoría de las personas se relacionan con el concepto de residuos sólido urbano, es importante tener en cuenta que aún hay un alto porcentaje que no tienen conocimiento de lo que es un correcto manejo de los residuos ni de la gestión de

estos. Allí es donde se debe hacer énfasis, debido a que ese desconocimiento es el mismo que lleva a la falta de cultura en el proceso de la generación y disposición de la mal llamada basura. Sin embargo, también es de resaltar que, en cuanto a los encuestados, prácticamente el 95% aun sin tener claro la conceptualización técnica que implica la clasificación y manejo de los residuos, éstos practican alguna técnica de recuperación o aprovechamiento de los residuos que generan en sus hogares o sitios de estadía habituales, siendo el compostaje y el reciclaje o re-uso las más comunes.

Figura 35. Aplicación de las formas de aprovechamiento de Rsu



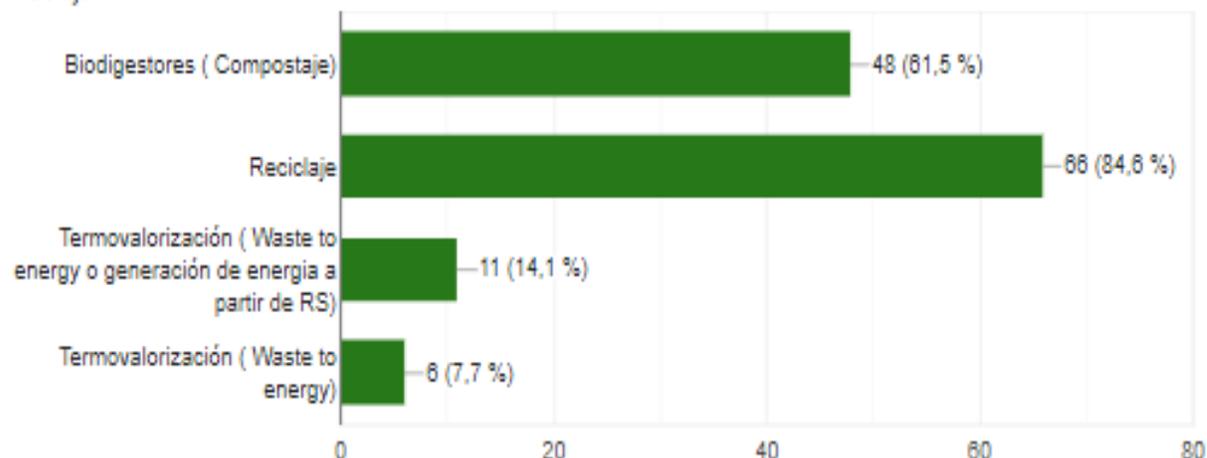
Fuente: Elaboración propia

Al parecer, conceptos como waste to energy o termovalorización, no son de tanto conocimiento para el público general, por lo que se hace necesario la sensibilización en estos temas que son sencillos pero muy técnicos.

Figura 36. Percepción de las técnicas de aprovechamiento RSU

9. ¿Conoce alguna de las siguientes formas de aprovechamiento de Residuos?

Escoja:

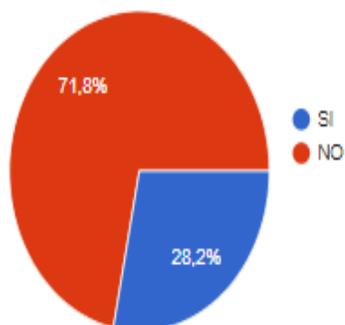


Fuente: Elaboración propia

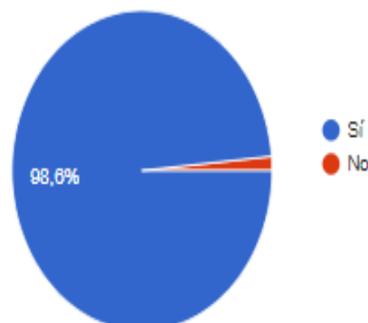
De esta encuesta, finalmente es posible deducir que a pesar de que el concepto de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos no es tan conocido y requiere de un gran proceso de divulgación y de concientización en las comunidades, estas mismas están dispuestas a hacer su aporte correspondiente como ciudadanos responsables y comprometidos, para lograr contrarrestar los efectos negativos que la generación de basuras está teniendo en el mundo, y que una estas estrategias, es cambiando la energía tradicional por energía generada de fuentes no convencionales. De esta manera, no sólo se mitiga las consecuencias de la gran cantidad de residuos generados, sino que también se evita el consumo de energías que no son tan aportantes ambientalmente.

Figura 37. Percepción Energías renovables.

11. ¿Conoce el concepto de Waste to Energy o Energy from Waste, como método renovable no convencional para la generación de energía eléctrica a partir de RSU?



12. ¿Estaría dispuesto a consumir energía proveniente de fuentes alternativas de aprovechamiento de residuos?



Fuente: Elaboración propia

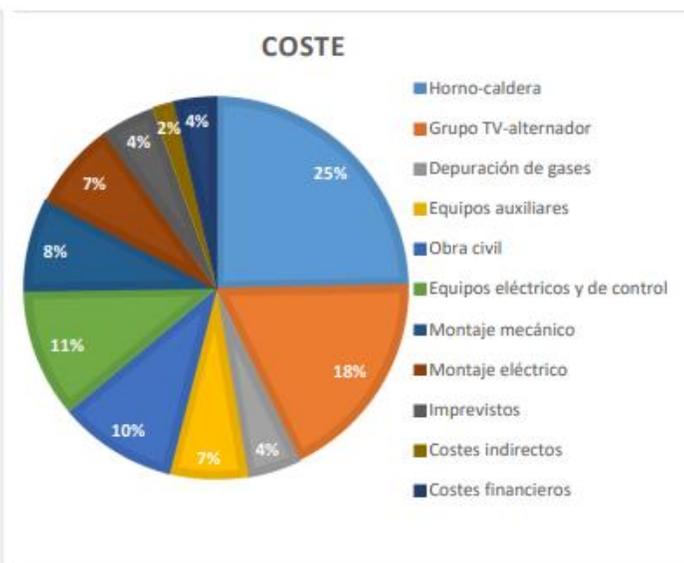
Como dicen Achillas, Vlachokostas, Moussiopoulos, Baniyas, & Karagiannidis, (2011), el éxito en la implementación de un proceso de gestión de residuos depende en gran medida de la aceptación de la comunidad local, en especial cuando no existe un historial o muestras de que es un proceso efectivo y que da resultados, aun así, es posible ver que la posición de las personas puede cambiar cuando se les evidencia y justifica los beneficios que puede traer la alternativa frente al problema o la situación actual que se atraviesa. Por ello, es importante que los entes Gubernamentales y asociaciones que velan por el bienestar del ambiente y su entorno unifiquen fuerzas con el fin de llegar a la población, de una forma que impacte más y que sea más significativa, que se comience con la implementación de leyes y normativas que sean más severas y cooperadoras con la gestión ambiental, resaltando los beneficios de colocar en funcionamiento herramientas no convencionales para el aprovechamiento en este caso, de Rsu.

Respecto al análisis financiero, hay diferentes factores que se deben tener en cuenta para poder determinar si es viable o no la implementación de este proyecto en una región como el valle de Aburrá desde un punto de vista económico.

Debido a que en Colombia no existe una planta Waste to energy implementada, se hace necesario tomar como referencia, los costos que han tenido las plantas de otros países en el mundo para realizar una relación de los costos – beneficios que podría tener un proyecto de esta magnitud en la región. Basados en esto, se toma como guía los costos en los que se incurren en el proyecto realizado por Mancebo, (2019), “Valorización energética de rsu” en Bilbao – España.

Tabla 17. Presupuesto del proyecto.

Concepto	Coste (€)
Horno-caldera	12.475.000
Grupo TV-alternador	9.150.000
Depuración de gases	2.300.000
Equipos auxiliares	3.325.000
Obra civil	5.000.000
Equipos eléctricos y de control	5.500.000
Montaje mecánico	4.000.000
Montaje eléctrico	3.750.000
Subtotal	45.500.000
Imprevistos	2.275.000
Costes indirectos	910.000
Costes financieros	1.820.000
TOTAL	50.505.000



Fuente: Mancebo, (2019),

En la tabla 18, se puede evidenciar que los costos promedio para la implementación de este proyecto, asciende a los 50.505.000 € de euros los cuales serán la inversión inicial. Se espera percibir ingresos por venta de la energía eléctrica generada, en una planta con potencia de 13,4 MW descontando el autoconsumo para el funcionamiento de ella e implementando 320 días en funcionamiento, así:

$$13,4 \text{ MW} \times 24 \text{ h/d} \times 320 \text{ d/año} = 102.912 \text{ MWh/año}$$

En este país, el precio de venta se determina en 5,00c€ por kWh, es decir, 50 € por MWh. Es decir, que por el año son 5.145.600 €. Adicionalmente manejan arriendo por los ayuntamientos de los municipios de los cuales por cada reciben en promedio 5.644.800 € para un total de €10.790.400 por año. Sin embargo, es importante considerar que los gastos de mantenimiento de una planta de este tamaño e índole son altos. Se estima el costo por el personal requerido para operar la planta, los costos de mantenimiento y operación además de los costos de gestión de cenizas y otros costos medioambientales. Estos costos están estimados en € 4.120.000. (Mancebo, 2019)

Realizando la proyección de los costos e ingresos que genera el funcionamiento de la planta, es posible determinar que a partir del año 8 empezaría a retornar la inversión realizada. En caso de ser una inversión enfocada a aplicar el proyecto más como modelo de negocio que como un proyecto ambiental con beneficios económicos, no sería funcional debido a que implicaría sacrificar la liquidez de la empresa durante 8 años. (Mancebo, 2019).

Tabla 18. Flujo de caja del proyecto

AÑO	GASTOS	BENEFICIOS	DIFERENCIA	ACUMULADO
1	-54625000	10790400	-43834600	-43834600
2	-4120000	10790400	6670400	-37164200
3	-4120000	10790400	6670400	-30493800
4	-4120000	10790400	6670400	-23823400
5	-4120000	10790400	6670400	-17153000
6	-4120000	10790400	6670400	-10482600
7	-4120000	10790400	6670400	-3812200
8	-4120000	10790400	6670400	2858200
9	-4120000	10790400	6670400	9528600
10	-4120000	10790400	6670400	16199000
11	-4120000	10790400	6670400	22869400
12	-4120000	10790400	6670400	29539800
13	-4120000	10790400	6670400	36210200
14	-4120000	10790400	6670400	42880600
15	-4120000	10790400	6670400	49551000
16	-4120000	10790400	6670400	56221400
17	-4120000	10790400	6670400	62891800
18	-4120000	10790400	6670400	69562200
19	-4120000	10790400	6670400	76232600
20	-4120000	10790400	6670400	82903000
21	-4120000	10790400	6670400	89573400
22	-4120000	10790400	6670400	96243800
23	-4120000	10790400	6670400	102914200
24	-4120000	10790400	6670400	109584600
25	-4120000	10790400	6670400	116255000

Fuente: Mancebo, (2019),

Realizando el cálculo del VAN (valor actual neto) con una tasa de descuento del 5%, se obtiene un valor de € 43.507.247,8 y una TIR (tasa interna de retorno) del 12,5%, por lo que se puede considerar como una buena inversión. Generaría un buen retorno de la inversión y se estaría realizando un aporte ambiental a la comunidad.

Otro proyecto para analizar es el realizado por Vergini, Melano, & Saccon, (2018), en su proyecto “Planta generadora de energía mediante la incineración controlada de RSU”. En este se realiza la evaluación de la instalación de una planta de generación de energía mediante la incineración controlada de RSU en la planta del CEAMSE en Ensenada- Argentina. Esta planta cuenta con una capacidad instalada para 32 MW, con 268.800 MWh para comercializar producidos en 350 días operativos. La inversión inicial está estipulada en US \$109.412.256, frente al proyecto anterior que con una capacidad para 13,4 MW invierte 50.505.000 € (US \$54.202.723), siendo valores equivalentes. La inversión se realiza como se relaciona a continuación:

Tabla 19. Inversión planta argentina

Activos Fijos	
INFRAESTRUCTURA	USD 6.796.934
OBRA CIVIL Y SERVICIOS	USD 8.237.938
ESTRUCTURA METÁLICA	USD 2.706.288
HORNO	USD 10.585.438
CALDERA	USD 11.144.226
LIMPIEZA DE GASES	USD 9.067.862
CONDENSADOR	USD 653.789
SISTEMA AGUA – VAPOR	USD 2.706.288
TURBOGENERADOR	USD 12.634.587
SISTEMA DE CENIZAS Y ESCORIAS	USD 2.113.429
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	USD 1.241.856
BÁSCULA DE CAMIONES	USD 134.716
óxido de vanadio	USD 0
PUENTE – GRÚA Y PULPO	USD 811.288
SISTEMA ELÉCTRICO	USD 3.307.577
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	USD 3.112.577
CHIMENEA	USD 1.353.144
SISTEMAS AUXILIARES	USD 947.500
Maq y equip. Oficina	USD 12.300
Maq y equipo Importado (FOB)	USD 95.960
Rodado	USD 75.000
TERRENO	USD 1.000.000
Capital de trabajo	USD 0

Activos Nominales	
Gs. de Nacionalización	\$ 5.556.206
Flete maq importada	\$ 2.469.425
Know How	\$ 2.500.000
Licencia	\$ 4.873.052
Gastos Pre-operativos	\$ 34.393
total	\$ 94.171.774
total iva	\$ 15.240.483
TOTAL INVERSION	\$ 109.412.256

Fuente: Vergini, Melano, & Saccon, (2018)

Considerando los costos, gastos e ingresos que puede generar el proyecto, se realiza una proyección de la ejecución de estos durante 10 años, en la que se puede percibir la proyección de ventas de watts de electricidad y las ganancias que genera este tipo de proyectos.

Tabla 20. Estado de resultados

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	U\$D 43.158.500	U\$D 44.872.966	U\$D 46.443.520	U\$D 47.836.825	U\$D 49.032.746
Costo de mercadería vendida	U\$D 15.585.686	U\$D 16.208.876	U\$D 16.776.187	U\$D 17.279.472	U\$D 17.711.459
Utilidad bruta	U\$D 27.572.814	U\$D 28.664.090	U\$D 29.667.333	U\$D 30.557.353	U\$D 31.321.287
Gastos administrativos	U\$D 143.497	U\$D 134.851	U\$D 133.987	U\$D 1.073.581	U\$D 1.073.581
Gastos de comercialización	U\$D 70.323				
Gastos de Fabricación	U\$D 140.884	U\$D 138.384	U\$D 138.134	U\$D 138.134	U\$D 138.134
amortizaciones/depreciaciones	U\$D 2.728.201	U\$D 2.728.201	U\$D 2.533.896	U\$D 2.533.896	U\$D 2.533.896
Gastos					
iva	U\$D 4.511.251	U\$D 4.323.642	U\$D 4.080.749	U\$D 3.784.420	U\$D 3.422.898
interes	U\$D 10.927.258	U\$D 10.554.890	U\$D 10.033.884	U\$D 9.398.256	U\$D 8.622.791
Ingresos brutos	U\$D 1.510.548	U\$D 1.570.554	U\$D 1.625.523	U\$D 1.674.289	U\$D 1.716.146
Resultado antes de impuestos	U\$D 7.540.852	U\$D 9.143.244	U\$D 11.050.837	U\$D 11.884.454	U\$D 13.743.518
impuesto a las ganancias	U\$D 2.639.298	U\$D 3.200.135	U\$D 3.867.793	U\$D 4.159.559	U\$D 4.810.231
Resultado después de impuestos	U\$D 4.901.554	U\$D 5.943.109	U\$D 7.183.044	U\$D 7.724.895	U\$D 8.933.287

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas	U\$D 50.258.564	U\$D 51.263.736	U\$D 52.289.011	U\$D 53.334.791	U\$D 53.868.139
Costo de mercadería vendida	U\$D 18.154.245	U\$D 18.517.330	U\$D 18.887.677	U\$D 19.265.431	U\$D 19.458.085
Utilidad bruta	U\$D 32.104.319	U\$D 32.746.405	U\$D 33.401.334	U\$D 34.069.360	U\$D 34.410.054
Gastos administrativos	U\$D 1.073.581				
Gastos de comercialización	U\$D 70.323				
Gastos de Fabricación	U\$D 138.134				
amortizaciones/depreciaciones	U\$D 2.533.896				
Gastos					
iva	U\$D 2.981.841	U\$D 2.443.752	U\$D 1.787.283	U\$D 986.391	U\$D 273.130
interes	U\$D 7.676.723	U\$D 6.522.520	U\$D 5.114.393	U\$D 3.396.477	U\$D 1.300.620
Ingresos brutos	U\$D 1.759.050	U\$D 1.794.231	U\$D 1.830.115	U\$D 1.866.718	U\$D 1.885.385
Resultado antes de impuestos	U\$D 15.870.771	U\$D 18.169.969	U\$D 20.853.609	U\$D 24.003.841	U\$D 27.134.984
impuesto a las ganancias	U\$D 5.554.770	U\$D 6.359.489	U\$D 7.298.763	U\$D 8.401.344	U\$D 9.497.244
Resultado después de impuestos	U\$D 10.316.001	U\$D 11.810.480	U\$D 13.554.846	U\$D 15.602.496	U\$D 17.637.740

Fuente: Vergini, Melano, & Saccon, (2018),

El costo de capital Empresario, manifiesta un costo de oportunidad con este proyecto del 15,39%. En cuanto a la rentabilidad de este proyecto, se calcula la VAN (valor actual neto) de US \$9.236.719 y una TIR (tasa interna de retorno) para el accionista, del 21,98% y para el proyecto del 17,24%, con un periodo de 6 años para retornar la inversión progresivamente. El punto de equilibrio para esta planta está determinado en 1MW de energía para el que es requerido incinerar 2,77 toneladas de RSU a un costo variable unitario de US \$84,34. Considerando esto, se tiene que para mantener en equilibrio los costos y la producción, se deben generar 64.034,4 Mw/h a un precio de US \$100,16. (Vergini, Melano, & Saccon, 2018).

El proyecto se considera viable, en pro de la implementación de tecnologías limpias en el país y de la limpieza y purificación del ambiente. Económicamente es viable y su retorno se verá reflejado después de el año 6 en funcionamiento. Llevando la implementación de este tipo de proyectos a regiones mas cercanas, podemos realizar el análisis de estudios de factibilidad realizados para implementación en Colombia, como es el caso del “Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta de generación de energía eléctrica a partir de la incineración de residuos sólidos urbanos (rsu) en san Andrés isla”, realizado por Gordon, & Pineda, (2003).

En este documento se relaciona un costo de \$75.000.000 mensuales por el manejo de los Rsu para una planta con capacidad de 2,5 MW, con un costo de inversión de US\$13.200.000 (considerando que es una planta pequeña que sólo trata 120 toneladas/día).

Tabla 21. Costos de inversión

INVERSIÓN EN LA OBRA CIVIL			INVERSIÓN EQUIPO ELECTRICO		
CONCEPTO	PORCENTAJE	DÓLARES	CONCEPTO	PORCENTAJE	DÓLARES
TERRENO	28,1	385.460,24	GENERADOR	29,8	523.318,04
OBRAS PRELIMINARES	6,3	86.084,29	TRANSFORMADORES	30,9	541.393,75
CENTRAL	17,3	237.280,11	COMUNICACIONES	11,7	204.799,51
EDIFICIOS AUXILIARES	9,6	132.005,05	SUB ESTACIÓN	21,2	372.043,68
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS	12,8	176.006,74	GASTOS GENERALES	1,0	17.022,75
EQUIPOS DE COMBUSTIÓN	14,1	193.415,51	IMPREVISTOS	5,5	96.520,77
SERVICIOS	2,3	32.075,99	SUB - TOTAL	100	1.755.098,49
IMPREVISTOS	9,4	128.441,06	CONCEPTO	PORCENTAJE	DÓLARES
SUB - TOTAL	100	1.370.769,00	CONSULTARIA	19,1	32.289,27
INVERSIÓN EQUIPO MECÁNICO				80,9	136.924,80
CONCEPTO	PORCENTAJE	DÓLARES	SUB - TOTAL	100	169.214,08
CALDERA	19,3	1.913.333,98			
EQUIPOS AUXILIARES	19,2	1.901.449,92			
MONTAJE	7,5	742.753,88			
TURBO GRUPO Y CICLO CONDENSADO	21,2	2.099.517,62			
SERVICIOS	1,0	96.062,83			
CONTROL DE EMISIONES	5,7	559.541,25			
ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	1,7	164.396,19			
IMPREVISTOS	5,3	521.908,39			
PLANTA DE RECICLAJE	19,2	1.901.449,92			
SUB - TOTAL	100	9.900.413,98			

Fuente: Gordon, & Pineda, (2003).

Respecto a los ingreso y egresos que deja el proyecto, a partir del periodo 3 se puede evidenciar ingresos.

Tabla 22. Flujo de caja del proyecto

	CONCEPTO	PERIODO			
		0	1	2	3-25,
INGRESOS	Venta de energía				0,756*
	No pago por manejo del relleno, lixiviados y transporte			0,035*	
	TOTAL DE INGRESOS			0,035*	0,756*
EGRESOS	Inversión inicial	8*	5,2*		
	costos operacionales				0,151*
	TOTAL EGRESOS				-0,151*
FLUJO NETO	* US \$ millones	-8*	-5,2*	0,035*	0,605*

Fuente: Gordon, & Pineda, (2003).

Proyectando estas cifras a futuro para analizar el VPN, se tiene (Gordon, & Pineda, 2003):

- Para el periodo "0" → $Vf = -8 (1 + 0,06)^{25} = - 34,33$
- Para el periodo "1" → $Vf = - 5,2 (1 + 0,06)^{24} = - 21,05$
- Para el periodo "2" → $Vf = \text{US\$ } 0,035 \text{ Millones } (1 + 0,06)^{23} = \text{US\$ } 0,13 \text{ Millones}$
- Para el periodo "3" al "25" → $Vf = \text{US } \$ 25,36 \text{ Millones}$

La rentabilidad es medida a través de VNP comparando los costos e ingresos que se generarían en los próximos 25 años:

$$Vf = (\text{US\$ } -34,33 \text{ Millones}) + (\text{US\$ } -21,05 \text{ Millones}) + (\text{US\$ } 0,13 \text{ Millones}) + (\text{US\$ } 25,36 \text{ Millones}) = \text{US\$} - 29,89 \text{ Millones}$$

Con este análisis se determina que el VPN (valor presente neto), para este proyecto en particular, da en negativo, es decir, se dejarían de percibir 29,89 millones de dólares de implementar este proyecto. Esto sucede debido a que la generación de residuos no es la requerida para dedicarse de lleno a esta actividad, la de la generación de energía eléctrica netamente. Es un proyecto enfocado más a la parte ambiental y social que busca impactar más a la problemática de la generación masiva de residuos y no a problemáticas de abastecimiento de energía.

9. CONCLUSIONES

En relación con los aspectos técnicos de las tecnologías waste to energy, podemos concluir que la metodología de la incineración a pesar de sus diferencias con otra tecnología como la gasificación y la pirolisis es bastante versátil en cuanto a la viabilidad de usar residuos mixtos (Biomasa + plásticos + papel).

En relación específica al componente ambiental y del manejo de RSU respecto de elementos aprovechables, las tecnologías WtE son excepcionales por las modernas y óptimas controles de emisiones de GEI.

La implementación y operación de plantas WtE tiene una connotación importante no solo por la producción de bienes que pueden ser vendidos en el mercado a buenos precios desde la óptica de la reutilización y reciclaje, sino que su uso y masificación en Colombia y Latinoamérica trae beneficios económicos que contribuyen e impactan positivamente el medio ambiente.

La valoración energética de residuos (uso de plantas WtE) son un elemento innovador importante tanto en la mejora de gestión de los residuos para cualquier ciudad, municipio o metrópoli que contribuye a disminuir la disposición de residuos sólidos, recibir residuos mezclados de todo tipo para producir electricidad, propender el reciclaje, aumentar el ciclo de vida de los productos y maximizar la vida útil de los sitios de disposición final de los residuos.

Es importante resaltar que el enfoque de la implementación de este tipo de proyectos en el país es principalmente el ambiental y social a partir de alternativas

que puedan suplir otro tipo de necesidades, y que no es un modelo de negocio netamente. Para el caso del Área metropolitana, puede ser viable el proceso de generación de energía debido al alto flujo de residuos que se disponen en La Pradera, sin embargo, la inversión es bastante alta y las ganancias se reflejan solo al largo plazo, por lo que no sería algo rentable para un empresario particular.

Al ser un proyecto más de inversión social, se debe buscar alternativas de financiación por parte de entes gubernamentales, que son los encargados de velar por la buena salud y la estabilidad de su población, siendo la implementación de las tecnologías Waste to Energy, una de las más factibles. Estas alternativas no sólo van a solucionar la problemática actual con los muchos residuos que llegan a la Pradera y que ocupan un espacio que cada vez se reduce más, sino que también a partir de ello, se puede solucionar otras situaciones de nivel social, como la generación de empleos, la recuperación de espacios y terrenos para otro tipo de actividades productivas.

10. REFERENCIAS

Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch. Moussiopoulos, N., Baniyas, G y Karagiannidis, A., 2011, pág. 862)

Araujo Martínez, B. (2008). ¿Cómo hacer un estudio de mercados para la creación y el desarrollo inicial de una empresa? Recuperado de https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/1273/3521_cartilla_estudio_mercado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Área metropolitana valle del Aburrá (2017). *Manejo integral de residuos sólidos*. Recuperado de https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/PMIRS_Institucional_capacitacion%20-%202020.pdf

Acodal seccional noroccidente (2017). *PGIRS-R 2017-2030 Plan de gestión integral de residuos sólidos regional: Objetivos y metas*. https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/plangestionintegral/03_Objetivos_Metas/063_PGIRS_R_AMVA__%20PPTO_PROGR%20Y%20PROY%20VER%2020%20DIC_2017%20S.%200AREA.%201.pdf

Acodal seccional noroccidente (2017). *PGIRS-R 2017-2030 Plan de gestión integral de residuos sólidos regional PGIRS-R 2017-2030.: PGIRS-R 2017-2030: Contexto ambiental regional y sociodemográfico*. https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/plangestionintegral/00_%20Informe_Contexto/03_Contextos%20ambiental%20y%20sociodemografico_.pdf

- Águila Mancilla, E., Cubillos Meza, A. I., Estenssoro Saavedra, F., Griffiths Spielman, J., Núñez, R., Parker, C., ... & Zolezzi Cid, J. M. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático.
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutierrez, A. J. W. M. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707-2716.
- Andrés Jiménez, Ó., Mantilla Portilla, I. A., Castro Peláez, K. J., Reales, L. P., Navarro, R. M., & Botero, M. M. (2014). Informe sobre la política pública de inclusión de los recicladores de oficio en la cadena de reciclaje. Recuperado de <http://www.medellincomovamos.org/file/3610/download/3610>.
- Banco de la Republica. (s.f). *El sistema económico*. Recuperado de <https://www.banrep.gov.co/es/contratacion-bienes-y-servicios>
- Bravo, L., & Urgilés, J. Estudio general de vigilancia tecnológica: waste-to-energy. Recuperado de <https://www.cedia.edu.ec/assets/docs/innovacion/1.%20Informe%20VT%20Waste-to-energy.pdf>
- Brunner, P. H., Morf, L. S., & Rechberger, H. (2004). *Thermal waste treatment-A necessary element for sustainable waste management*. Na. Recuperado de https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_142020.pdf
- Cajas Iza, E. J. (2015). *Plan de negocio para la creación de una empresa productora y comercializadora de zapatos de futbol, en el cantón Quinsaloma año 2014* (Bachelor's thesis).

- Cameron, L., Mozaffarian, H., Falzon, J., Bole-Rentel, T., Cohen, B., & Das, K. C. (2014). Biomass Waste-to-Energy Toolkit for Development Practitioners. Recuperado de <http://resolver.tudelft.nl/uuid:683e17d6-b321-4362-abb1-6a787daaf92f>
- Campos, U., Zamenian, H., Koo, D. D., & Goodman, D. W. (2015). Waste-to-Energy (WTE) technology applications for Municipal Solid Waste (MSW) treatment in the urban environment. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng*, 5(2), 504-8.
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de [https://books.google.es/books?id=qYmL8Q10TYcC&lpq=PA1&ots=Fc7C30e4mG&dq=Castells%2C%20X.%20E.%20\(2005\).%20Tratamiento%20y%20valorizaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20de%20residuos.%20Ediciones%20D%C3%ADaz%20de%20Santos.&lr&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=qYmL8Q10TYcC&lpq=PA1&ots=Fc7C30e4mG&dq=Castells%2C%20X.%20E.%20(2005).%20Tratamiento%20y%20valorizaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20de%20residuos.%20Ediciones%20D%C3%ADaz%20de%20Santos.&lr&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false)
- Chicaiza, C. (2020). Tecnologías Modernas para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Cristhian-Chicaiza-Ortiz/publication/348280674_Tecnologias_Modernas_para_el_tratamiento_de_Residuos_Solidos_Urbanos/links/5ff629ee92851c13fef31d4e/Tecnologias-Modernas-para-el-tratamiento-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf
- DANE. (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018 Colombia*. DANE, información para todos. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>

Datos abiertos (s.f). *Datos abiertos área metropolitana del valle de Aburrá.*
Recuperado de <https://datosabiertos.metropol.gov.co/>

Decreto 838 de 2005. *Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones*" 23 de marzo de 2005. Ministerio ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Decreto 1076 de 2015. *Por medio del cual se expide el decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* 26 de mayo de 2015. Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

Decreto 1713 de 2002 [con fuerza de ley]. *Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.* 7 de agosto de 2002. D.O. No. 44893

Decreto 4741 de 2005. *Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.* Diciembre 30. Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

DNP, Departamento nacional de planeación. *Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP.* Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advier-te-el-DNP--.aspx>

DNP, Departamento nacional de planeación. *Misión de Crecimiento Verde.* Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Paginas/Misi%C3%B3n-de-crecimiento-verde.aspx>

Embajada de Colombia. (s.f). *Geografía de Colombia*. Recuperado de <https://embajadadecolombia.org/generalidades/geografia/>

Emvarias 2017. *Relleno Sanitario La Pradera*. Recuperado de <https://www.emvarias.com.co/servicios/home/servicio-publico-de-aseo/relleno-sanitario-la-pradera>

Espinoza, S. F. (2010). *Los proyectos de inversión: evaluación financiera*. Editorial Tecnológica de CR. Recuperado de [https://books.google.es/books?id=erlnsjksoLMC&pg=PA11&ots=lpQ4V2Bfx8&dq=Espinoza%2C%20S.%20F.%20\(2010\).%20Los%20proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%3A%20evaluaci%C3%B3n%20financiera.%20Editorial%20Tecnol%C3%B3gica%20de%20CR.&lr&hl=es&pg=PA11#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=erlnsjksoLMC&pg=PA11&ots=lpQ4V2Bfx8&dq=Espinoza%2C%20S.%20F.%20(2010).%20Los%20proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%3A%20evaluaci%C3%B3n%20financiera.%20Editorial%20Tecnol%C3%B3gica%20de%20CR.&lr&hl=es&pg=PA11#v=onepage&q&f=false)

Flórez Acuña, B. (2019). *Desarrollar un modelo analítico para predecir los asentamientos y los factores de rendimientos, para evaluar la capacidad de un relleno sanitario*. [Trabajo de grado – Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Unal. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76672>

Fuentes, C. J. C. R. (2017). *ESTADOS FINANCIEROS BÁSICOS 2017: Proceso de elaboración y reexpresión*. Ediciones Fiscales ISEF. Recuperado de [https://books.google.es/books?id=scomDwAAQBAJ&pg=PT24&ots=_RzsQ_ydbu&dq=Fuentes%2C%20C.%20J.%20C.%20R.%20\(2017\).%20ESTADOS%20FINANCIEROS%20BÁSICOS%202017%3A%20Proceso%20de%20elaboraci%C3%B3n%20y%20reexpresi%C3%B3n.%20Ediciones%20Fiscales%20ISEF.&lr&hl=es&pg=PT24#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=scomDwAAQBAJ&pg=PT24&ots=_RzsQ_ydbu&dq=Fuentes%2C%20C.%20J.%20C.%20R.%20(2017).%20ESTADOS%20FINANCIEROS%20BÁSICOS%202017%3A%20Proceso%20de%20elaboraci%C3%B3n%20y%20reexpresi%C3%B3n.%20Ediciones%20Fiscales%20ISEF.&lr&hl=es&pg=PT24#v=onepage&q&f=false)

García Laureano, R. (2019). *Tratamiento de residuos urbanos o municipales. UF0285. Tutor Formación.* Recuperado de [https://books.google.es/books?id=ECeUDwAAQBAJ&lpg=PA11&ots=QyIW DNhHUD&dq=%20Garc%3%ADa%20Laureano%2C%20R.%20\(2019\).%20Tratamiento%20de%20residuos%20urbanos%20o%20municipales.%20UF0285.%20Tutor%20Formaci%C3%B3n.&hl=es&pg=PA11#v=onepage&q=Garc%3%ADa%20Laureano,%20R.%20\(2019\).%20Tratamiento%20de%20residuos%20urbanos%20o%20municipales.%20UF0285.%20Tutor%20Formaci%C3%B3n.&f=false](https://books.google.es/books?id=ECeUDwAAQBAJ&lpg=PA11&ots=QyIW DNhHUD&dq=%20Garc%3%ADa%20Laureano%2C%20R.%20(2019).%20Tratamiento%20de%20residuos%20urbanos%20o%20municipales.%20UF0285.%20Tutor%20Formaci%C3%B3n.&hl=es&pg=PA11#v=onepage&q=Garc%3%ADa%20Laureano,%20R.%20(2019).%20Tratamiento%20de%20residuos%20urbanos%20o%20municipales.%20UF0285.%20Tutor%20Formaci%C3%B3n.&f=false)

Gordon Peña, E., & Pineda Gutiérrez, R. (2003). Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta de generación de energía eléctrica a partir de la incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) en San Andrés Isla. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/454

Güsewell, J., Scherzinger, K., Holstenkamp, L., Vincent, L., & Eltrop, L. (2021). Extending the Operation of Existing Biogas Plants: ¿Which Follow-Up Concepts and Plants Will Prevail? *Front. Energy Res*, 9, 719697.

Haykırı-Acma H. (2003) Combustion characteristics of different biomass materials. *Energy Convers Manage.* Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689040100200X>

Healey, J. (2016). *Waste Recycling and Energy Saving.* The Spinney Press.. Recuperado de <https://blog.donalo.org/2020/01/23/comando-circular-la-obsolencia-programada-tiene-arreglo/>

Hernández Hernández, H, Orduz Prada, J, Zapata Lesmes, H, y Duarte Ortega, M. (.). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. [Bogotá] :Unidad de Planeación Minero-Energética : Instituto de*

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM : Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias : Universidad Industrial de Santander, URN:ISBN:9789588504599

INERCO, Consultoría Colombiana (2018). Valoración energética de residuos: Proyecto WTE Colombia. Recuperado de <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1339>

INTEINSA, I. (2019). Informe de instrumentación y estabilidad mensual I-2553-LP-33-Rev0. Asesoría técnica y análisis del sistema de instrumentación del relleno sanitario La Pradera. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10495/17185>

Jaramillo Henao, G y Zapata Márquez, L.M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* [Tesis de Especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio institucional UdeA. <http://tesis.udea.edu.co/handle/10495/45>

Jiménez Martínez, N.M (2017). El residuo: producto urbano, asunto de intervención pública y objeto de la gestión integral. Tomado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-81102017000100158&script=sci_abstract

Liu, C., Nishiyama, T., Kawamoto, K., & Sasaki, S. (2020). Waste-to-Energy Incineration-CCET Guideline Series on Intermediate Municipal Solid Waste Treatment Technologies. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11822/32795>

López Pulgarín, Y., & Franco Orozco, B., (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Cuaderno Activa*, 12(1), 119-134.

Mancebo Fernández, P., (2019). *Valorización energética de RSU*. [Tesis de Máster]. Repositorio institucional Universidad del país vasco. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/34846/TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Masgrau, E. G. (2005). El apalancamiento financiero: de cómo un aumento del endeudamiento puede mejorar la rentabilidad financiera de una empresa. *Revista de contabilidad y dirección*, 2, 71-91.

Medellín cómo vamos. (s.f). *Valle de Aburrá: población por municipio, 2020*. <https://www.medellincomovamos.org/node/18687>

Medellín cómo vamos. (s.f). *Así es Medellín*. <https://www.medellincomovamos.org/node/18687>

Melano, B., Saccon, S. & Vergini, S., (2018). Planta generadora de energía mediante la incineración controlada de RSU.[Proyecto de grado pregrado]. Repositorio Institucional Abierto

Ministerio del medio ambiente. *Política para la gestión de residuos*. Santa fe de Bogotá, 1997. P. 15. http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/residuos/politica%20y%20plan%20de%20accion/politica%20de%20residuos.pdf

Montes Cortés, C. (2018). *Disposición final de residuos sólidos y contaminación hídrica, una problemática ambiental no tan ajena*. Bogotá : Universidad Externado de Colombia, 2018. <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/2332>

- Montiel Bohórquez, Néstor D., & Pérez, Juan F., (2019). *Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas*. Información tecnológica, 30(1), 273-284. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100273>
- Moratorio, D., Rocco, I., & Castelli, M. (2012). Conversión de residuos sólidos urbanos en energía. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (10), 115-126.
- Muñoz Villa, M. (2019). Proyecto de construcción de un centro para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el área urbana del municipio de san pedro de los milagros (ant).[Trabajo de grado, Institución Universitaria Pascual Bravo]. Repositorio institucional Pascual Bravo. <http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/jspui/handle/pascualbravo/944>
- Murcia Betancourt, S., & Salamanca Rodríguez, M. A. (2021). Lombhum: visor geográfico para el monitoreo de proyectos de lombricultura. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/28937>
- Núñez, Rafael. (2007). Manual para la elaboración de proyectos de inversión. México: trillas s.a. recuperado de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108354/secme-6833_1.pdf?sequence=1
- Ortega, Á., Maradiegue Ontaneda, R., Zúñiga-Arias, G., & Rodríguez-Sánchez, G. (2015). Formulación de proyectos de inversión: diagnóstico, estudio de mercado y análisis técnico. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11056/21601>
- Ortiz Anaya, H., (2011). Análisis Financiero Aplicado. Colombia: 14.a ed. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/3835>

Pecoraio, S. (2015). *MF0076_2 Gestión de residuos urbanos*. Cano Pina. <https://elibro.net/es/ereader/pascualbravo/44025?page=21>

Pérez Castañeda, S. S. (2012). Análisis de sensibilidad de indicadores financieros en la evaluación de inversiones en Mipymes. VI Encuentro de Investigación en Ciencias Económico Administrativas. ISBN CD 978-607-482-279-3. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5508/analisis_de_sensibilidad.pdf

Perilla Morales, A. M., & Pongutá Cordero, D. A. (2021). *Selección de una alternativa valorización energética de residuos sólidos para la ciudad de Bogotá, utilizando el análisis jerárquico multicriterio (AHP)* (Master's thesis, Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible Virtual). <http://hdl.handle.net/10882/10304>

Portillo Monterrosa, M., Rivera Prado, M., & Rivera Loaiza, D. (2021). *Aprovechamiento de empaques usados en los quirófanos de la ciudad de Medellín*. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio institucional UdeA. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/24702>

Posada Restrepo, E. (2020). Perspectives of project engineering in the disposal of solid waste in Colombia and possibilities of energy use and valuation. *Revista EIA*, 17(33), 56-73.

Red de desarrollo sostenible (2022). *Procesos de reciclaje y cadenas de valor avanzados y sostenibles para multimateriales a base de plástico*. <https://www.rds.org.co/es/resultado-busqueda/procesos-de-reciclaje-y-cadenas-de-valor-avanzados-y-sostenibles-para-multimateriales-a-base-de-plastico>

Rand, T., Haukohl, J., & Marxen, U. (2000). *Municipal Solid Waste Incineration Requirements for a Successful Project*. The World Bank: Washington.

Reimann, D. O. (2021). CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants) Energy Report III (2007–2010). *Bamberg, Germany: CEWEP*.

Residuos profesional, (2016). *Medellín acogerá una conferencia internacional sobre valorización energética de residuos*.
<https://www.residuosprofesional.com/medellin-conferencia-wte-valorizacion/>

Resolución 1045 de 2003. *Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. 26 de septiembre de 2003*. . Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Resolución 1390 de 2005. *Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003 que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma. 27 de septiembre de 2005*. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Resolución 2184 de 2019. *Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones*". Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial

Rodríguez Contreras, J. M., (2015). *Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios en Colombia: Mitos y Realidades*. Repositorio institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7349>

- Santos, T. (2008). Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio. *Contribuciones a la Economía*, 11. Recuperado de <https://www.eumed.net/ce/2008b/tss.htm>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mc Graw Hill educación. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1243>
- Semana (2017). Medio ambiente. *Las ciudades de Colombia, con la basura hasta el cuello*. <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/basura-en-colombia-en-el-pais-se-producen-10-millones-de-toneladas-al-ano/38765/>
- Singh, R. S., Tripathi, N., Hills, C. D., & Atkinson, C. J. (2019). Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *NPJ climate and atmospheric science*, 2(1), 1-10.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2021). *Informe Nacional Disposición Final de Residuos sólidos*. (13). <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%>
- Toro Herrera, C. D. (2019). *Termovalorización de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina* (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali). <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/678>
- UPME, U. D. (2018). *Valorización energética de residuos: proyecto wte Colombia*. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1339>

Vergini, S., Melano, B., & Saccon, S. (2018). Planta generadora de energía mediante la incineración controlada de RSU. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12272/3299>

Young, G. C. (2010). *Municipal solid waste to energy conversion processes: economic, technical, and renewable comparisons*. John Wiley & Sons. Recuperado de <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA242592642&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00092460&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Ed26bcacb>

11. BIBLIOGRAFIA

<https://www.superservicios.gov.co/publicaciones>

<https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/basura-en-colombia-en-el-pais-se-producen-10-millones-de-toneladas-al-ano/38765/>

<https://www.metropol.gov.co/ambientales/aprovechamiento-de-residuos-s%C3%B3lidos>

<https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/5359/Articulo%20de%20revisi%C3%B3n-de-rellenos-sanitarios%20%281%29.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

<https://www.emvarias.com.co/servicios/home/servicio-publico-de-aseo/relleno-sanitario-la-pradera>

<https://www.emvarias.com.co/mapa-interactivo>

<https://www.metropol.gov.co/ambientales/aprovechamiento-de-residuos-s%C3%B3lidos>

<https://www.dnp.gov.co/Paginas/-Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advierte-el-DNP-.aspx>

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2022/Ene/informe_df_2020.pdf

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2022/Feb/informe_sectorial_de_la_actividad_de_aprovechamiento_2020.pdf

http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/24702/2/RiveraMadelayne_2021_AprovechamientoEmpaquesUsadosEnQuirofanos.pdf

https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/plangestionintegral/00_%20Informe_Contexto/03_Contextos%20ambiental%20y%20sociodemografico_.pdf

<https://www.metropol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/pomca/2007/pomcac9-subsistema-antropico-componenteresiduossolidos.pdf>

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76672/1051668694.2019.pdf?sequence=1>

http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/24702/2/RiveraMadelayne_2021_AprovechamientoEmpaquesUsadosEnQuirofanos.pdf

https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/AMVA2021_APROVECHAMIENTO_RESIDUO_RECICLABLE.pdf#search=relleno%20sanitario

http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/26034/1/QuinteroAlejandro_2022_GestionResiduosSolidos.pdf

12. ANEXOS

Anexo a. Patentes plantas de transformación de Residuos sólidos

Patente madre	Tamaño de familia	Título	Fecha de publicación	Poseedor de derechos
CH644888A5	70	Proceso y aparato para el tratamiento combinado de residuos sólidos y aguas residuales.	1984/08/31	BORST ADOLF H
KR101254824B1	47	Hidrólisis enzimática de biomásas que tienen un alto contenido de materia seca	2013/04/15	DONG ENERGY POWER, UNIVERSITY OF COPENHAGEN
KR100222062B1	47	Sistema de incineración y método de combustión de residuos.	1999/10/01	JOHN N BASIC SR.
CA2603803C	44	Sistemas y métodos implementados por computadora para la puesta en marcha, calibración y resolución de problemas de un sistema de energía renovable instalado	2013/09/24	POWER ONE RENEWABLE ENERGY SOLUTIONS
HK1194027A1	40	Molino para triturar basura	2017/04/21	CHRYSOPOEIA
US202000178 87A1	38	Pretratamiento no presurizado, hidrólisis enzimática y fermentación de fracciones de residuos	2020/01/16	RENESCI
KR101987000 0606B1	37	Proceso y aparato para la fermentación anaerobia de desechos sólidos en agua en dos fases.	1987/03/25	GIST-BROCADES N.V.
CZ304760B6	36	Método para combustibles sólidos, especialmente de desechos sólidos y los aparatos para fabricarlos.	2014/10/01	APS ENG
US201903756 64A1	35	Métodos de procesamiento de residuos sólidos municipales (RSU) utilizando hidrólisis microbiana y fermentación	2019/12/12	RENESCI
HK1097801A1	33	Método y sistema para el reciclaje de residuos sólidos municipales y la explotación del combustible de recuperado a partir de dichos residuos.	2014/06/20	SORAIN CECCHINI AMBIENTE

Fuente: Bravo, L., & Urgilés, J. ESTUDIO GENERAL DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA: WASTE-TO-ENERGY.

Residuos sólidos, energía y reciclaje

Encuesta sobre conceptos de Residuos sólidos, energía y reciclaje

1. Género *

Femenino

Masculino

2. Rango de edad: *

De 18 a 30 años

De 31 a 40 años

De 41 a 50 años

Más de 50 años

3. Su área de formación es: *

1. Profesional áreas de ingenierías
2. Profesional áreas ambientales
3. Profesional en ciencias sociales o humanas
4. Profesional en áreas administrativas
5. Otra

4. Su nivel de formación es: *

Técnico o tecnólogo

Profesional

Especialista

Magister

Doctor

5. ¿Conoce el concepto de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) *

- SI
- NO

6. ¿Está familiarizado con la temática de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos? *

- SI
- NO
- Parcialmente

7. ¿Práctica alguna técnica o modelo de reciclaje en su entorno? *

- SI
- NO
- Parcialmente

8. ¿ Cree usted que se puede producir electricidad con RSU? *

- Sí
- No

9. ¿Conoce alguna de las siguientes formas de aprovechamiento de Residuos?. Escoja: *

- Biodigestores (Compostaje)
- Reciclaje
- Termovalorización (Waste to energy o generación de energía a partir de RS)

10. De las anteriores formas de aprovechamiento de RSU, ¿Aplica alguna de ellas?¿Cual? *

- Compostaje (Obtención de abono)
- Reciclaje (Segundo uso económico o productivo de los RSU)
- Biodigestores (Obtención de gas)

...

11. ¿Conoce el concepto de Waste to Energy o Energy from Waste, como método renovable no convencional para la generación de energía eléctrica a partir de RSU? *

- SI
- NO

12. ¿Estaría dispuesto a consumir energía proveniente de fuentes alternativas de aprovechamiento de residuos? *

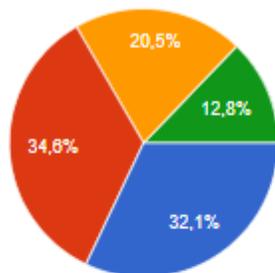
- Si
- No

Anexo c. Respuestas Encuestas de percepción WtE

2. Rango de edad:

78 respuestas

 Copiar

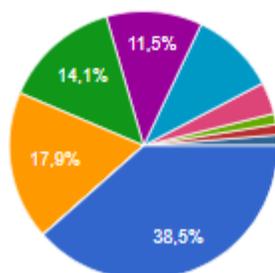


- De 18 a 30 años
- De 31 a 40 años
- De 41 a 50 años
- Más de 50 años

3. Su área de formación es:

78 respuestas

 Copiar



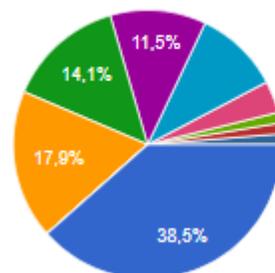
- Profesional áreas de ingenierías
- Profesional áreas ambientales
- Profesional en ciencias sociales o hu...
- Profesional en áreas administrativas
- Otra
- Profesional área de ingeniería
- Otros
- Tecnóloga en redes eléctricas

▲ 1/2 ▼

3. Su área de formación es:

78 respuestas

 Copiar



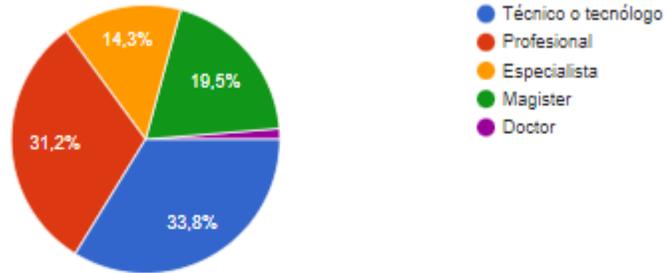
- Profesional áreas de ingenierías
- Profesional áreas ambientales
- Profesional en ciencias sociales o hu...
- Profesional en áreas administrativas
- Otra
- Profesional área de ingeniería
- Otros
- Tecnóloga en redes eléctricas

▲ 1/2 ▼

4. Su nivel de formación es:

 Copiar

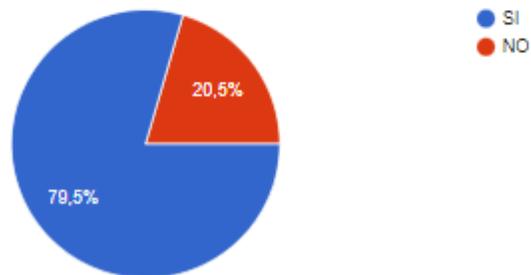
77 respuestas



5. ¿Conoce el concepto de RSU (Residuos Sólidos Urbanos)

 Copiar

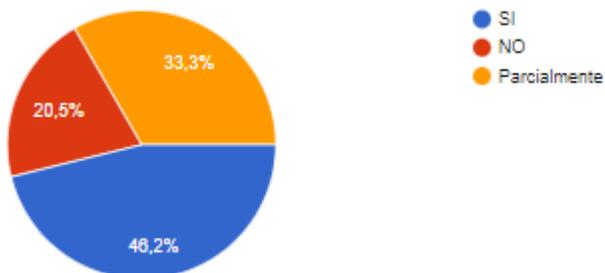
78 respuestas



6. ¿Está familiarizado con la temática de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos?

 Copiar

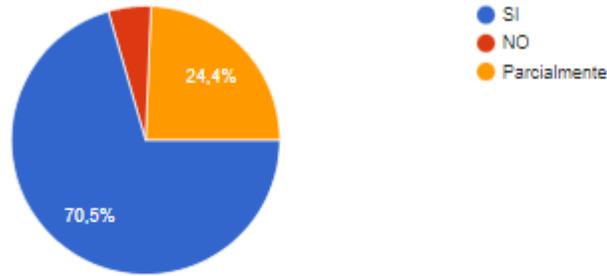
78 respuestas



7. ¿Práctica alguna técnica o modelo de reciclaje en su entorno?

 Copiar

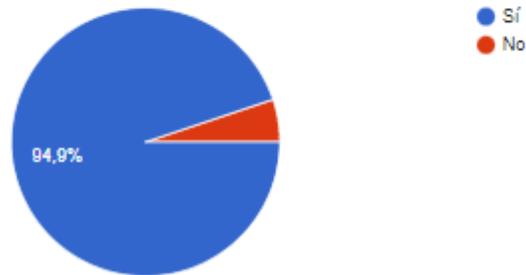
78 respuestas



8. ¿ Cree usted que se puede producir electricidad con RSU?

 Copiar

78 respuestas

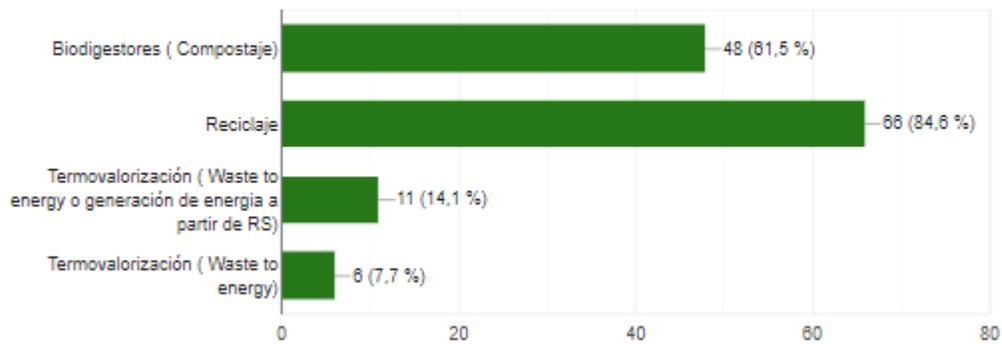


9. ¿Conoce alguna de las siguientes formas de aprovechamiento de Residuos?.

 Copiar

Escoja:

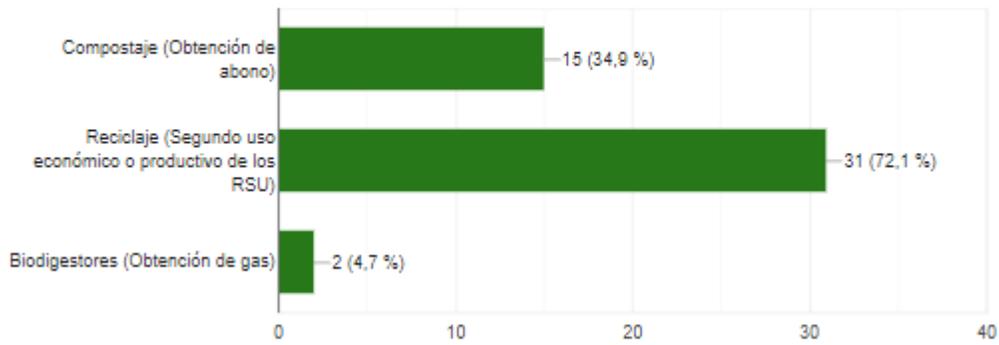
78 respuestas



10. De las anteriores formas de aprovechamiento de RSU, ¿Aplica alguna de ellas?
¿Cual?

 Copiar

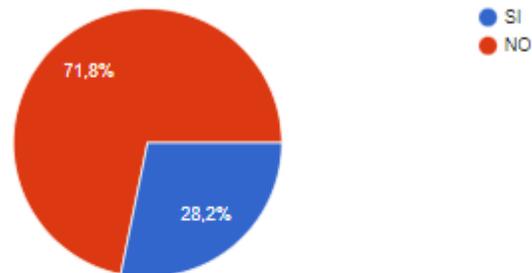
43 respuestas



11. ¿Conoce el concepto de Waste to Energy o Energy from Waste, como método renovable no convencional para la generación de energía eléctrica a partir de RSU?

 Copiar

78 respuestas



12. ¿Estaría dispuesto a consumir energía proveniente de fuentes alternativas de aprovechamiento de residuos?

 Copiar

70 respuestas

