

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA, COOPERACIÓN Y DESARROLLO REGIONAL**

**Plan de adopción tecnológica de un Sistema “Waste to
Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de
residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín**

Modalidad de trabajo Profundización

Victor Mario Oquendo Correa

Director:

Juan Felipe Parra Rodas
Magister en ingeniería

Línea de Investigación

Gestión de la tecnología y la innovación

Ciencias Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MEDELLÍN, COLOMBIA**

2023

Plan de adopción tecnológica de un sistema “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Victor Mario Oquendo Correa

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magíster en Gestión de la Innovación Tecnológica, Cooperación y Desarrollo Regional

Director:

Juan Felipe Parra Rodas
Magister en ingeniería

Línea de Investigación

Gestión de la tecnología y la innovación

Ciencias Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MEDELLÍN, COLOMBIA

2023

Dedicatoria

A Dios todo poderoso manifestado en Tsurriel su ángel y por la intercesión de María virgen por suscitar los medios, recursos y bendiciones para llegar a esta fase de mi formación profesional y humana, en especial a mi familia por el tiempo negado a ellos para ser entregado a este proyecto y con todo el amor y cariño a Raquel, mi madre; quien siempre confió en silencio sin esperar nada a cambio, en memoria de aquellos ángeles y no presentes, padre y hermanos, pero indudablemente a mi hijos Emilio y Miguel, a modo de ejemplo de voluntad, disciplina y constancia para forjar un sueño por oscuro que sea el camino o grande el obstáculo.



AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi agradecimiento, gratitud y deuda con cada uno de los miembros de la comunidad académica del ITM Institución Universitaria; entre ellos el equipo de dirección del programa de Maestría en Gestión de innovación tecnológica Cooperación y Desarrollo Regional; en especial a mi profe Juan Felipe Herrera, siempre gracias a quienes directa o indirectamente han apoyado y facilitado con su gestión la oportunidad de una formación integral en esta etapa de maestría. Por último y con no menos aprecio al director del presente trabajo de grado, el profesor Mg. Juan Felipe Parra Rodas, por su calidad humana, su pasión pedagógica además de la dedicación, compromiso, exigencia y apoyo para dirigir este proyecto.

RESUMEN

El concepto Waste to Energy (WtE) es la sigla o término que describe múltiples tecnologías para proceso de producción de electricidad, combustible y/o vapor a partir del aprovechamiento energético (a temperaturas extremadamente altas y de modo controlado) de los residuos sólidos urbanos (RSU) para ser usado como combustible: dicho término puede traducirse como termo valorización de residuos sólidos o energía a partir de residuos, pero para homogeneidad con las investigaciones y temáticas afines se empleará la sigla WtE que aborda las diferentes técnicas, tecnologías y filosofía de la investigación en desarrollo, y es base fundamental de un Sistema de Gestión Integral de residuos sólidos Municipales.

Este ejercicio investigativo aborda una revisión detallada de literatura sobre aspectos Técnicos, legislativos y Ambientales de la valoración energética respecto de tecnologías WtE para realizar un diagnóstico amplio mediante la consulta en bases de datos indexadas como Scopus y determinando el estado del flujo de información de la temática Waste to energy, posteriormente se analiza y prescriben las acciones formales o informales en un contexto de plan de adopción tecnológica y se constituye a la vez insumo de futuras investigaciones o proyectos para materializar tecnologías de termovalorización de residuos (plantas WtE) como fuente de energía renovable no convencional ambientalmente sostenible, técnicamente funcional y administrativamente rentable.

Con base en la revisión bibliográfica y a través de un proceso de vigilancia estratégica pudo hallarse Indicadores bibliométricos y tendencias de investigación por países para identificar los perfiles estadísticos de las tecnologías WtE en cuestión; en cuanto a los aspectos legales se contextualizó este aspecto relacionado con la gestión de residuos sólidos así: Marco normativo en Colombia, normatividad y reglamentación en el municipio de Medellín relacionada con la gestión de residuos sólidos Urbanos y finalmente, se propuso un marco



Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

general en forma de esquema sistemático para la adopción de la tecnología WtE más adecuada para un sistema de gestión sostenible de RSU aplicable a Medellín, a través de una matriz de 12 parámetros esenciales que habrá que considerar en cualquier contexto al iniciar un proyecto de aprovechamiento energético de residuos como instrumento esencial en un plan de adopción Tecnológica.

Palabras clave: Residuos sólidos Urbanos (RSU), Waste To Energy (WtE), Electricidad, Energía, Vapor, Ciclo combinado, Ambiente, Vigilancia estratégica, análisis bibliométrico, plan de adopción Tecnológica.

ABSTRACT

Waste to Energy (WtE) is the term or acronym that describes multiple technologies for electricity production process, fuel and/or steam from energy use (at extremely high temperatures and in a controlled manner) of municipal solid waste (MSW) to be used as fuel: This acronym can be translated as thermo-valorization of solid waste or energy from waste, but for homogeneity with research and related topics the acronym WTE will be used, which deals with the different techniques, technologies and philosophy of research under development, and this is the fundamental basis of an Integral Management System of Municipal Solid Waste.

This research exercise addresses a detailed literature review on technical, legislative and environmental aspects of energy valuation with respect to WTE technologies to make a comprehensive diagnosis by consulting indexed databases such as Scopus and determining the state of the information flow of the Waste to energy topic, then the formal or informal actions are analyzed and prescribed in a context of technological adoption plan and at the same time constitutes input of future research or projects to materialize technologies of thermo-valorization of waste (WTE plants) as an environmentally sustainable, technically functional and administratively cost-effective non-conventional renewable energy source.

Based on the literature review and through a strategic monitoring process, bibliometric indicators and research trends by country could be found to identify the statistical profiles of the WTE technologies in question; regarding the legal aspects this aspect related to solid waste management was contextualized as follows: Regulatory framework in Colombia, regulations and regulations in the municipality of Medellín related to the management of urban solid waste and finally, A general framework was proposed in the form of a systematic scheme for the adoption of the most appropriate WTE technology for a sustainable RSU management system applicable to Medellín, through a matrix of 12 essential parameters



Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

that must be considered in any context when initiating a waste energy development project as an essential instrument in a technology adoption plan.

Key words: Urban Solid Waste (RSU), Waste to Energy (WTE), Electricity, Energy, Steam, Combined Cycle, Environment, Strategic Surveillance, Bibliometric Analysis, Technology Adoption Plan.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE TABLAS.....	14
GLOSARIO.....	15
INTRODUCCIÓN	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
Antecedentes de la problemática.....	20
Justificación contextual.....	25
Preguntas de Investigación.....	36
OBJETIVOS.....	37
Objetivo General.....	37
Objetivos Específicos	37
1. Marco Teórico.....	38
1.1 Precedentes Sociotécnicos	39
1.2 Justificación Temática.....	40
1.3 Limitaciones y alcance de la tecnología para obtener energía eléctrica a partir del RSU	42
1.4 Marco contextual Para tecnologías WtE	43
1.4.1 La pirólisis	46
1.4.2 La gasificación.....	47
1.4.3 Gasificación por plasma.....	47
1.5 Componentes y subcomponentes de la tecnología	48
1.5.1. Componentes del proceso Waste to Energy.....	49

1.6	WtE aplicado a la gestión Integral de residuos solidos	54
2.	Desarrollo Metodológico	60
2.1.	Vigilancia tecnológica	62
2.1.1.	Tipo de vigilancia tecnológica.....	63
2.2.	Ejercicio bibliométrico	63
2.2.1	Ecuación de búsqueda general.....	64
2.2.2	Fuentes internas y externas de información.....	65
2.2.3	Cronología.....	66
2.2.4	Áreas del conocimiento que delimitan la búsqueda	66
2.3.	Road Mapping “Plan de Adopción”	67
3	Resultados.....	68
3.1	Nivel de adopción de la tecnología Waste to Energy a nivel mundial	70
3.2	Tablas y figuras objeto de análisis dentro de la vigilancia.....	78
3.2.1	Tendencia temática e Índices de impacto de las publicaciones relacionadas con Temática WtE	80
3.2.2	Índices de impacto de las publicaciones	81
3.3	Información de Occidente	82
3.3.1	Análisis de resultados de búsqueda	87
3.3.2	Ajuste de ecuación de búsqueda.....	90
3.3.3	Reportar nuevos hallazgos	92
3.4	Indicadores bibliométricos Conclusivos	96
3.4.1	Tendencias de investigación por países.	97
3.4.2	Tendencia por instituciones o grupos de investigadores.....	98



3.5	Marco legal	101
3.5.1	Normativa nacional en relación con fuentes no convencionales de energía 101	
3.5.2	Contexto normativo relacionado con la gestión de residuos solidos	101
3.5.3	Marco normativo local, normatividad y reglamentación en el municipio de Medellín relacionada con la gestión de residuos sólidos	106
3.6	Nube de palabras en la búsqueda	108
3.6.1	Iteración de palabras clave	110
3.7	Road Mapping	117
3.7.1	Road Mapping “Plan de Adopción”	118
3.7.2	Propuesta Esquemática de Implementación del Roadmapping	119
3.7.2.1	Implementación del Roadmapping.....	120
4.	Conclusiones y recomendaciones	122
4.1.	Recomendaciones.....	124
	Referencias.....	127
5.	Anexos	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Países con mayor aprovechamiento de residuos para generación eléctrica y térmica.....	44
Figura 2. Tecnologías de conversión de residuos en energía	46
Figura 3. Componentes y subcomponentes de la Tecnología Waste to Energy	51
Figura 4. Esquema de bloques del proceso de valorización energética de RSU.	52
Figura 5. Componentes de una planta de incineración de RSU con limpieza de gases de combustión vía húmeda, Fuente: Comisión Europea ,2006	53
Figura 6. Proporción de la población mundial y los desechos sólidos municipales (RSU) para los países del G20	57
Figura 7. Desempeño del reciclaje.	58
Figura 8. Desarrollo Conceptual Metodológico	60
Figura 9. Suministro mundial total de energía primaria a partir de biomasa en 2018	68
Figura 10. Plantas WtE en el mundo.....	73
Figura 11. Citas de fuentes por año	79
Figura 12. tendencia temática de los Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación general.	80
Figura 13. Tendencia de los Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación depurada	82
Figura 14. Estado mundial de eliminación de RSU en los 10 países con mayor PIB	84
Figura 15. Apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología Waste to energy.	85
Figura 16. Apropiación tecnológica de la tecnología Waste to energy en Europa.....	86
Figura 17. Documentos por área de investigación con la ecuación general	87
Figura 18. Documentos por área de investigación con la ecuación depurada.....	88
Figura 19. Tipo de documentos por área de investigación con la ecuación general.....	89

Figura 20. Tipo de documentos por área de investigación con la ecuación depurada	90
Figura 21. Nube de dispersión de la ecuación depurada, de palabras clave por tema.	91
Figura 22. Documentos por autor de ecuación depurada.....	92
Figura 23. Documentos por afiliación de ecuación depurada.....	93
Figura 24. Documentos por ciudad o territorio de ecuación depurada..	94
Figura 25. Documentos por patrocinador de ecuación depurada..	95
Figura 26. Documentos por ciudad o territorio de ecuación general a nivel mundial.....	97
Figura 27. Documentos por autor de ecuación general a nivel mundial.	98
Figura 28. Documentos por autor de ecuación general a nivel de América..	99
Figura 29. Líneas de investigación Waste to Energy.....	100
Figura 30. Nube de dispersión de la ecuación general, de palabras clave por tema.	108
Figura 31. Nube de palabras para occidente.	109
Figura 32. Iteración palabras clave	110
Figura 33. Iteración de la administración de residuos	111
Figura 34. Iteración del término energy utilization.....	112
Figura 35. Iteración del término Biomasa	113
Figura 36. Iteración del término pirolisis, calor, biocombustibles..	114
Figura 37. Iteración del término utilización de la energía, calor de los residuos, incineración de desechos, reciclaje y administración de residuos sólidos..	115
Figura 38. Iteración del término Reciclaje, administración de residuos, recuperación de energía.....	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Costos paralelos alternativas al Plan de Gestión de Residuos Sólidos PGIRS del Municipio de Medellín 2015_____	24
Tabla 2. Estimaciones de costos individuales de plantas de IRSU para países industrializados y emergentes._____	31
Tabla 3. Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) adecuados para Residuo a Energía (RAE) _____	34
Tabla 4. Composición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en Medellín y residuos adecuados para Residuo-a-Energía (RAE) (Datos de RSU tomados de la Universidad de Antioquia (2006))_____	34
Tabla 5. Situación de las actividades de tratamiento en algunos países de América Latina y El Caribe_____	56
Tabla 6. Capacidad instalada y plantas WtE en Europa_____	74
Tabla 7. Estados que implementan plantas WtE en US_____	75
Tabla 8. Capacidad planta WtE instalada en China 2003 al 2013_____	76
Tabla 9. Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación general_____	81
Tabla 10. Índices de impacto de las publicaciones basada en la ecuación depurada_____	83
Tabla 11. Road Mapping _____	118
Tabla 12. Análisis esquemático del plan de adopción_____	119

GLOSARIO

Ambiente: sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana. Pérez, (2021).

Ciclo combinado (central de): es una central de generación eléctrica en la que la energía térmica del combustible se transforma en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos el correspondiente a una turbina de gas mediante combustión y el convencional de agua/turbina de vapor. García, (2006).

Bibliometría: Subdisciplina de la cienciometría que proporciona información sobre los resultados del proceso investigador, su volumen, evolución y estructura. Escorcía, (2008).

Electricidad: es el conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas. Se manifiesta en una gran variedad de fenómenos como los rayos, la electricidad estática, la inducción electromagnética o el flujo de corriente eléctrica. Gózales, (2019).

Energía: La energía es la capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc. Es una cantidad física escalar y se puede presentar de muchas formas; es una medida única de varias formas de movimiento e interacción de la materia, una medida de la transición de la materia de una forma a otra. Se representa con diferentes símbolos así, la energía se representa con el símbolo E , la cantidad de calor usa el símbolo Q , para designar el trabajo se utiliza el símbolo W y para la energía interna la letra U . Inzunza, (2012).

Gasificación de residuos: tecnología diseñada para obtener un gas de síntesis, "Syngas", es decir, un producto que puede ser empleado para producir combustibles, productos químicos o energía. Puede definirse como un proceso pirolítico optimizado por el que una sustancia sólida o líquida con alto contenido en carbono es transformada en una mezcla combustible gaseosa mediante oxidación parcial con aplicación de calor. García, (2019).

Pirólisis: proceso de descomposición térmica de la materia en ausencia de oxígeno, en el que se rompen las cadenas de polímeros y sus productos pueden utilizarse como materia prima para otros procesos, Mendoza (2016). El pirólisis de los residuos sólidos convierte el material en productos sólidos, líquidos y/o gaseosos, este nuevo producto puede ser usado para producir energía o refinado en otros productos. El residuo sólido puede ser refinado en otros productos como el carbón activado.

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. Mutz, (2017).

WtE: Área de investigación de relevancia ambiental, social y económica, que va más allá de la generación y el manejo integral de residuos. Singh, (2019).

Plan de adopción Tecnológica: proceso por el cual los potenciales usuarios de la tecnología aprenden a usarla y la adquieren como propia, incorporándola a sus procesos de trabajo tal y como se había previsto en su desarrollo, para que la nueva tecnología genere cambios óptimos. González, (2021).

Residuos sólidos urbanos (RSU): Son los desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, y que normalmente son sólidos a temperatura ambiente. Perdigón, (2014).

Vigilancia Estratégica: modo de gestión para conseguir, de forma temprana, la información necesaria que permita a las instituciones tomar mejores decisiones mediante un análisis objetivo y crítico de la situación en la cual se encuentran los procesos de innovación, desarrollo e investigación en cuanto a su eficiencia y calidad. Navarro, (2020).

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico de la población urbana y el desplazamiento masivo hacia los centros urbanos más desarrollados ha resultado en la generación de una creciente cantidad de desechos, de residuos sólidos municipales biodegradables, no biodegradables y reciclables los cuales han sobrepasado la capacidad de acumulación de los vertederos o también llamados rellenos sanitarios. Este contexto que es extensivo a Latinoamérica y muchas ciudades del mundo ha llevado a gobiernos y grupos de ciudadanos a contemplar iniciativas alternativas entorno al reciclaje, la mitigación del impacto ambiental de la gestión tradicional de desechos y reducción de estos, pero la más importante y llamativa es la generación de energía a partir de los mismos; esta se denomina Waste to Energy "WtE" y minimiza notablemente la disposición de residuos en rellenos sanitarios.

En el capítulo 1 se desarrolla el marco teórico, delimitado en los precedentes socio técnicos que explican la visión sistémica de la investigación; la justificación temática que aborda conceptos técnicos y conceptuales en relación directa con el proceso de vigilancia estratégica del proceso WtE.

El capítulo 2 expone el desarrollo metodológico de la investigación, con tres ejes a partir del uso de herramienta investigativas así: Eje 1, Caracterización de la vigilancia estratégica; eje 2, ejercicio bibliométrico que aborda las ecuaciones de búsqueda y áreas de conocimiento involucradas, además de las fuentes internas y externas de información; por último, el eje 3, es la propuesta del plan de adopción y su esquema de implementación a través de la herramienta Road Mapping Tecnológico aplicado a un sistema.

En el capítulo 3 se desarrolla un análisis bibliométrico de resultados de las bases de datos consultadas y finalmente en el capítulo 4 tenemos el análisis de resultados.

Desde la perspectiva temática de la investigación sobre termovaloración se expone que en las plantas de procesamiento de residuos con tecnologías WtE pueden identificarse de

modo general 5 procesos básicos principales: pretratamiento, clasificación, homogeneización, recuperación y tratamiento de emisiones.

La evidencia bibliográfica induce que los altos costos de inversión inicial, los costos de operación de esta tecnología, déficit de información (en torno a gestión de residuos + termovalorización + energías alternativas -en sinergia, no por separado-) , mínima comunicación asertiva con la población respecto a impactos, (lucros de ganancia, generación de empleo, beneficios ambientales) de los procesos WtE; tienen a esta tecnología una serie de desafortunados acontecimientos y hechos que limitan su adopción, desarrollo y masificación en Latinoamérica; es por tanto también un objetivo implícito de esta investigación el proveer información sobre instalaciones WtE como resultado tácito de la divulgación científico-tecnológica a partir de una vigilancia estratégica y su respectivo soporte bibliométrico después de la revisión detallada en bases de datos especializadas y literatura publicada en revistas científicas reconocidas e informes de organizaciones internacionales líderes como el Banco Mundial, la Agencia Internacional de Energía (AIE) e International Organización del Trabajo (OIT), Scopus , Elsevier, Google académico; fuentes de información seleccionadas por su rigor académico y fácil trazabilidad de la documentación analizada.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de información confiable en medios de comunicación y la poca difusión adecuada de la que sí es fidedigna o de fuentes científicas con la población respecto a los beneficios e impactos ambientales de Waste-to-Energy (WtE), han limitado la masificación, apropiación y adopción de esta tecnología en Latinoamérica. Los cambios en los hábitos de consumo, el desarrollo de las ciudades y el crecimiento económico de las grandes capitales han resultado en la generación de una creciente cantidad de residuos sólidos municipales (RSM) los cuales están sobrepasando la capacidad de los rellenos sanitarios, esta situación ha obligado a los gobiernos a evaluar opciones alternativas para la gestión integral de residuos sólidos, tales como reducción de desechos, reciclaje y generación de energía a partir de residuos o Waste-to-Energy (WtE), para desviar el flujo de residuos a vertederos y mitigar las afectaciones ambientales y de salud resultantes de dicha práctica pero llegar a ejecuciones y/o implementaciones de ingeniería de este tipo depende de ejercicios de investigación como continuas y constantes socializaciones académicas de actualizadas Investigaciones, desarrollos, innovaciones tecnológicas al respecto.

Según datos de Acodal, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en el país solo reutiliza y/o recicla alrededor de un 20% de RSU, con base en cálculos de la misma fuente un 84% de ese mismo total podrían ser empleados en procesos de termovalorización con tecnologías como WtE. Es por tanto este contexto un motivo de apropiación o adopción de este tipo de tecnologías (Jaramillo, Rodríguez, & Lozano, 2015).

Energy from Waste (EfW); Waste to Energy (WtE) es el término que describe el proceso de producción de electricidad, combustible y/o vapor a partir del aprovechamiento energético (a temperaturas extremadamente altas) de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En Medellín se disponen diariamente de 1800 Toneladas de RSU que van directamente a un relleno sanitario dejando de aprovechar un potencial energético de 600KW por tonelada de desechos. Este insumo podría ser utilizado en múltiples procesos de co-generación o como fuente ecológica, renovable y sostenible de energía en forma de gas, electricidad, Biocombustible, Biomasa, etc.

Este nivel de generación de residuos está saturando rápidamente el vaso Altaír donde son depositados los residuos sólidos después de la recolección por el operador local. Dicho vaso Altaír es decir el trozo del relleno sanitario Ubicado en La Pradera (nombre del relleno sanitario local), que está acondicionado para recibir los RSU y se estima que estará lleno en los primeros meses del año 2023. Cuando ese terreno de 22 hectáreas se cierre, se habrán acumulado allí más de 5,5 millones de metros cúbicos de basura. Para mitigar esta situación empresas Varias de Medellín, entidad local responsable de la recolección y disposición está alistando otro vaso, que podría recibir las basuras por 7 años más (Subsecretaría de Servicios Públicos y Secretaría de Gestión y Control Territorial, 2017).

Antecedentes de la problemática

La gestión de residuos se puede definir como el conjunto de operaciones encaminadas a dar a los RSU producidos en una zona determinada el destino adecuado desde el punto de vista económico y ambiental, según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y comercialización, coste de tratamiento y normativa legal. Esta definición se vincula al «enfoque post-consumo» de la gestión de RSU, que consiste en tomar como dada la cantidad y composición de residuos generados y establecer la

estructura adecuada de métodos para su administración y tratamiento. Lund (1990), Jacobs y Everett (1992), Keeler y Renkow (1994) o Huhtala (1997) pueden ampliar visiones de esta línea innovadora de abordaje (enfoque de post consumo, reaprovechamiento y/o disposición final integral de residuos sólidos urbanos con aprovechamiento energético-).

En Medellín y el área metropolitana los modernos hábitos de consumo de los actuales estilos de vida de los consumidores están desencadenando un gran problema de desechos y desperdicios. Se han sobrellenado 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, como evidencian diferentes autores (Centeno, 2019; Correa et al, 2021), en relación que el uso generalizado de vertederos representa un problema ambiental y para la salud de los seres vivos más cuando se ha evidenciado afectación del sistema respiratorio de las comunidades aledañas a estos sitios. Las soluciones que genera en cuanto a sus bajos costos de producción y mantenimiento son temporales y a largo plazo desbordan los efectos nocivos en salud pública.

El excesivo nivel de generación de residuos está saturando rápidamente el vaso Altaír donde son depositados los RSU después de la recolección por el operador local. Dicho vaso Altaír, es decir el trozo del relleno sanitario Ubicado en La Pradera (nombre del landfill o relleno sanitario local), que está acondicionado para recibir los RSU se estima que estará lleno en los primeros meses del año 2023. Cuando ese terreno de 22 hectáreas se cierre, se habrán acumulado allí más de 5,5 millones de metros cúbicos de basura. Para mitigar esta situación empresas Varias de Medellín, entidad local responsable de la recolección y disposición está alistando otro vaso, que podría recibir las basuras por 7 años más (Subsecretaría de Servicios Públicos y Secretaría de Gestión y Control Territorial, 2017).

En el universo de la gestión de residuos sólidos urbanos Medellín adopta un proceso centralizado en recolección y disposición de residuos sólidos en relleno sanitario, para dicha

concepción tradicional se ha documentado, desarrollado y ejecutado lo que se denomina a nivel local y nacional como “PGIRS” o Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lo cual según el Decreto 1077 de 2015, “...es el instrumento de planeación municipal que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por el ente territorial 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, partiendo de 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, evaluado a través de la medición de resultados.”

En Colombia se generan 11,6 millones de toneladas de basuras al año, de estas se recicla el 17% de los residuos y no se hace la separación en la fuente ni la recolección selectiva, (en la Unión Europea se recicla el 67% de los residuos). El país requiere inversiones por \$3,3 billones (para 2016-2026) para garantizar el 100% de disposición final (bajo la filosofía tradicional de relleno sanitario) y cerrar brechas de cobertura en recolección entre áreas urbanas y rurales (Dirección Nacional de Planeación, 2016). La relación Costo-Beneficio entre el manejo tradicional (relleno sanitario) frente a tecnologías emergentes no justifica dicho tipo de inversiones que a la larga se traduce en gasto.

En Medellín el modelo implementado es tradicional; recolección, transporte y disposición final en vertedero también denominado relleno sanitario, dicha visión en desuso acarrea costos adicionales, como ejemplo en la Tabla 1 se exponen los costos asociados a la elaboración de planes complementarios para la gestión tradicional de residuos sólidos para el municipio de Medellín. Dichos costos son asumidos por los usuarios y registrados con una periodicidad mensual en facturas de cobro. Puede observarse directamente en la Tabla los niveles y cifras respecto de estudios, planes y alternativas que si bien son asumidas por el usuario dichos costos no representan un retorno o ingreso ni para el usuario, ni para el



Institución Universitaria

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

ambiente, ni ofrecen una perspectiva de solución de raíz a la problemática ambiental, energética o económica (Gestión y Control Territorial Municipio de Medellín, 2015).

ACTIVIDADES:		ALTERNATIVAS					
		RESPONSABLE	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO MENSUAL	COSTO TOTAL
1.1	• Creación de una interface articulada a la plataforma SIAMED para el ingreso de información alimentada por las entidades involucradas en la gestión de los residuos sólidos.	Secretaría de Medio Ambiente	Sistema de Información	1	\$1,026,900,000	\$1,026,900,000	\$1,026,900,000
1.2	• Articulación de las dependencias que directa o indirectamente son responsables en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la definición de estrategias y tácticas.	Secretaría de gestión y control territorial	Persona	1	\$ 5,900,000	\$ 5,900,000	\$ 23,600,000
			Persona	3	\$ 4,550,000	\$ 13,650,000	\$ 54,600,000
			Carro	1	\$ 4,200,000	\$ 4,200,000	\$ 16,800,000
	• Diagnóstico de la cadena de valor, asociando tanto las actividades primarias como de soporte.	Secretaría de Medio Ambiente	Refrigerios	30	\$ 10,000	\$ 300,000	\$ 3,000,000
	• Construcción de escenario prospectivo de la Gestión Integral de Residuos.	Valor Total de la Alternativa					\$ 1,124,900,000
2.1	• Análisis de roles y responsabilidades concernientes a la función pública.	Secretaría de Medio Ambiente	Persona	1	\$ 5,900,000	\$ 5,900,000	\$ 283,200,000
	• Creación y puesta en marcha de un comité de I+D+i, como mecanismo de acceso a fondos y financiación de proyectos de investigación.		Persona	3	\$ 4,550,000	\$ 13,650,000	\$ 655,200,000
			Equipamiento	1	\$ 15,000,000	\$ 15,000,000	\$ 15,000,000
			Persona	2	\$ 4,550,000	\$ 9,100,000	\$ 54,600,000
	• Realizar un concurso que involucre a particulares y a la academia, en el que se propongan modelos de disposición final y recolección de residuos sólidos alternativos.	Persona	1	\$ 5,900,000	\$ 5,900,000	\$ 35,400,000	
		Persona	3	\$ 24,200,000	\$ 72,600,000	\$ 72,600,000	
		Plan	1	\$ 25,000,000	\$ 25,000,000	\$ 75,000,000	
		Instalaciones	1	\$ 43,000,000	\$ 43,000,000	\$ 43,000,000	
		Premio	1	\$ 170,000,000	\$ 170,000,000	\$ 170,000,000	
	Valor Total de la Alternativa						\$ 1,404,000,000

Tabla 1. Costos paralelos alternativas al Plan de Gestión de Residuos Sólidos PGIRS, **Fuente:** Municipio de Medellín 2015

Justificación contextual

Esta investigación presenta información actualizada sobre la adopción Tecnológica para tecnologías WtE, “Waste to Energy”, que es a su vez una alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos para la ciudad de Medellín, esto mediante una visión sistémica; es decir, el análisis a (...) un sistema estructurado, compuesto por artefactos, inmersos en un medio parte natural y en parte artificial, y cuyos componentes están unidos por lazos de diversas clases, como los son los económicos, culturales y políticos. Bunge (1999), y se refuerza con un ejercicio bibliométrico de consulta para ampliar el concepto WtE como posible fuente de energía renovable no convencional, y en el caso de implementarse cubriría en parte la demanda de energía eléctrica y/o energía térmica garantizando una gestión Integral y adecuada de los residuos sólidos urbanos en la municipalidad.

Teniendo como antecedente de que en Colombia no hay instalaciones WtE para tratamiento térmico de desechos como parte de un plan integral de manejo de residuos sólidos a gran escala y, según informe de la Organización Panamericana de la Salud -OPS-, el 81,8% de los desechos no reciclados van a rellenos sanitarios (100% para el caso de las grandes ciudades); 4,1% a vertederos controlados; y 12,5% van a botaderos a cielo abierto con todas sus implicaciones en tanto a impacto sobre la salud y el ambiente debido a la generación de gases y lixiviados, relacionados con efectos nocivos en personas, animales, fuentes hídricas (Posada, 2018).

A través de este proyecto y con una visión Técnica, Legal y ambiental (que se constituye como análisis sistémico) se pretende exponer los elementos mínimos en un plan de adopción de tecnologías WtE “Waste to Energy” y determinar los requerimientos de implementación, valorar las condiciones actuales para su posible desarrollo, estructurar los

elementos de adopción y detallar las actividades para consolidar una planta de termovalorización como alternativa sostenible en el tratamiento integral de residuos sólidos urbanos.

En una planta de termovalorización con tecnología WtE se realiza un proceso de combustión controlada de la fracción de Residuos Sólidos Urbanos -RSU- de rechazo, resto o que no fue reusada, sea en una estación de transferencia o procedentes del usuario final o de una planta de tratamiento mecánico-biológico (planta de separación de materiales); y que, por lo tanto, se consideran una fracción ya no reciclable. De esta manera, se reduce de forma considerable el volumen de los residuos y se aprovecha su poder calorífico para generar electricidad.

La electricidad generada en la Planta WtE da espacio al concepto de Valorización Energética, ya que de un material (RSU) cuya finalidad era la disposición final en un vertedero, se convierte automáticamente en insumo (Combustible con Valor Energético) para la producción de electricidad de la cual se destina al autoconsumo de la propia instalación un 12%, y el resto, un 88% se vende a la red eléctrica. La valorización energética de los RSU minimiza el volumen de residuos mediante su combustión y que aprovecha la energía que genera este proceso para producir vapor y electricidad en un sistema denominado WtE.

Desde sus orígenes, el hombre ha utilizado los recursos naturales para asegurar su supervivencia y crear objetos que le ayuden a prosperar dentro de un medio difícil y hostil. Entre estos recursos, los más importantes han sido los alimentos y la madera que, en las primeras épocas, generaban unos restos que se integran fácilmente en el medio sin afectarlo. Debido a que la humanidad evolucionó, trajo consigo el crecimiento de los núcleos urbanos con respecto a la extracción y transformación de elementos naturales, trayendo a su vez consecuencias al tener dificultades para eliminar los residuos producidos, dando esto como origen la formación de los primeros vertederos.

En la sociedad actual, la composición de los residuos urbanos es completamente distinta a la de los siglos anteriores, al disminuir los residuos orgánicos de los alimentos y crecer los productos utilizados como envases, el vidrio, el cartón y el plástico característicos de la sociedad de consumo actual. En el marco del tratamiento de los residuos generados, hasta mediados del siglo pasado fue muy importante el aprovechamiento agrícola como fertilizante y el ganadero como alimento, teniendo en cuenta que la mayor parte de los residuos eran orgánicos. En España, por ejemplo, hasta 1945, no se empezaron a realizar controles a los vertederos, siendo habituales los vertidos incontrolados y los quemaderos. Finalmente, en los años 60 y 70, se crearon las primeras instalaciones de compostaje e incineración, iniciándose un panorama más próximo al actual (Biblioteca de Ingeniería Universidad de Sevilla, 2016).

Con el paso de los tiempos, las leyes, planes y programas de algunos países o municipios, encaminados a la protección y regulación de actividades relacionadas con el uso de los recursos naturales, en este caso, con la búsqueda de una gestión adecuada de residuos sólidos, ha permitido que el desarrollo sustentable se fortalezca; muchos países han logrado tener grandes éxitos en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, aportando a su vez a la superación de la pobreza (Tello Espinoza, Martínez Arce, Daza, Soulier Faure, & Terraza, 2010).

Un modelo de caso de éxito como La Pintana, municipio de Santiago Chile, en la separación de residuos desde el origen, sería a partir de los siguientes pasos: a) separar los residuos vegetales en un recipiente especial y entregarlo separado al camión exclusivo para la recolección de vegetales (la Dirección de Gestión Ambiental de este municipio, recolecta alrededor de 30 ton/día de residuos vegetales provenientes de 17 mil viviendas, 45 mil personas); b) los papeles, metales y cartones los entregan a los chatarreros o cartoneros que acompañan al camión recolector; y c) los vidrios, envases de tetrapack y botellas plásticas, los llevan a los puntos verdes que se encuentran distribuidos en diferentes

sectores de la comuna. A partir de la recolección selectiva, la Dirección de Gestión Ambiental del municipio, desarrolla actividades que estén relacionadas con el reciclado, la educación comunitaria, la recuperación de energía y el compostaje (Tello Espinoza, Martínez Arce, Daza, Soulier Faure, & Terraza, 2010, pág. 128). A este caso de éxito puede incorporarse el componente de recuperación energética logrando un macroproyecto integral que potencia el poder calorífico de los residuos finales.

La palabra final respecto de las plantas de termovalorización y los proyectos Waste to energy no está definida por un estándar, pero lo que sí puede adaptarse a la intencionalidad local respecto de manejo de residuos, separación en la fuente, gasificación y producción de energía. En esa razón de ideas puede integrarse a las tecnologías de termodestrucción casos de éxito locales como los proyectos piloto comunitarios de compostaje domiciliario. Dicha dirección de gestión ambiental puede contar con una planta de lombricultura que permite utilizar un innovador modelo de “ganadería intensiva” (donde el ganado son lombrices rojas californianas), esto para el tratamiento de residuos vegetales y la obtención de humus. El compost y el humus son obtenidos en un programa de huerta ecológica, con el desarrollo de un invernadero y huerto urbano orgánico, de hortalizas y vegetales, para consumo individual (Tello Espinoza, Martínez Arce, Daza, Soulier Faure, & Terraza, 2010). Iniciativas o modelos de este estilo son replicables en localidades o ciudades rurales, o un subconjunto geográfico de las mismas aprovechando al máximo la totalidad de los residuos sin discriminar su procedencia.

Un valor agregado y con toque diferenciador podría ser la temática de recuperación de aceites ejemplo incorporable podría ser el programa de separación, la Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) que lleva adelante la iniciativa de separación de aceites de cocina, mediante la cual proporciona bidones de recolección a los vecinos que luego son recolectados una vez al mes. La DIGA recolecta el aceite usado y lo transforma en biodiesel a través de un proceso de producción propio. El proyecto recibió el premio nacional a la

innovación "AVONNI 2010", en la categoría medio ambiente (Tello Espinoza, Martínez Arce, Daza, Soulier Faure, & Terraza, 2010). Si bien, los patrones culturales varían de un país a otro puede diseñarse un modelo de gestión integral de residuos sólidos con no solo una línea de componentes enfocada en generación de electricidad, sino también micro unidades de recuperación de materiales, aprovechamiento de aceites, unidades de paletización, cadena de frío, cogeneración propiamente dicha y naturalmente la etapa de producción de electricidad para comercialización y sostenibilidad del proyecto.

El Porqué de esta tesis está centrado en exponer que las plantas de conversión de residuos en energía, a diferencia de otras operaciones de producción de energética, tienen dos propósitos, es decir; estas plantas generan energía (Eléctrica, térmica y mecánica) y gestionan los residuos (recuperación de elementos reciclables y disposición final de RSU), en particular los residuos sólidos urbanos. Al convertir los desechos en energía, estas producen materiales útiles en el proceso WtE y ambas visiones han sido exploradas de modo independiente (no sistémica) , esta investigación apuesta a una visión integral que dé paso a un plan de adopción que abarque la visión administrativa e ingenieril desde la innovación tecnológica; sobre todo cuando la generación y distribución de energía y la gestión de residuos sólidos son procesos complicados y ambos tienen un impacto ambiental sustancial (Römph, 2016).

Resultados de investigaciones como las de Giugliano & Ranzi, (2016) Sobre tratamientos térmicos de residuos exponen que estos tienen emisiones de gases menores en comparación con las instalaciones de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles (exceptuando las de gas natural), reduciendo aún más las emisiones de gases de efecto invernadero -HFG-, de los rellenos sanitarios y al mismo tiempo disminuyendo la dependencia de la producción de energía a partir de combustibles fósiles.

Los beneficios económicos y su valorización energética pueden someterse a evaluación cuando se independiza la producción de electricidad de los recursos fósiles y se utiliza los

residuos sólidos urbanos como elemento combustible alternativo con las herramientas tecnológicas adecuadas. Una planta WtE para la termovaloración de residuos sólidos urbanos para la producción de electricidad es el elemento innovador que genera beneficios en términos ambientales, económicos del modo más amigable con el ambiente y a la par con las más exigentes normas ambientales de la actualidad.

El aprovechamiento o valorización energéticos de residuos se viene considerando cada vez más como una solución a los problemas que se derivan del aumento en los volúmenes de residuos en las ciudades en expansión, al igual que la creciente demanda energética. Sin embargo, el aprovechamiento energético de residuos para poder resolver aquellos problemas debe complementarse con un sistema integral de gestión de Residuos, según las condiciones locales específicas con respecto a la composición de todos los RSU, a los retos ambientales, a su recolección y reciclado, al sector informal, al precio de recursos, financiamiento y entre otros (Mutz, Hengevoss, Hugi, & Gross, 2017).

Para la incineración de residuos sólidos urbanos (IRSU) se requiere una inversión de capital respaldada por una planeación financiera a largo plazo, y donde se cuente con suficientes recursos para garantizar la operación y mantenimiento continuos de la planta. Países que están en vía de desarrollo suelen contar con fondos disponibles para la inversión inicial, no obstante, en muchas ocasiones al llegar a la fase de operación no tienen los fondos suficientes. Para evaluar la viabilidad financiera de la operación de una planta de IRSU, es importante anualizar los costos de inversión los cuales se calculan con base en las inversiones iniciales y la tasa de interés requerida para dicha inversión; y los costos operativos esperados incluyen el costo del personal, refacciones y mantenimiento, materiales auxiliares, electricidad, costos de eliminación, impuestos, seguros y disposición de residuos como escoria y ceniza volante; con respecto a los ingresos que se derivan de la venta de energía, estos dependen de la eficiencia de la planta, de los precios de electricidad, del PCI o Poder calorífico Inferior (calor que desprende un combustible en base húmeda, es

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

decir; considerando la cantidad de calor necesaria para vaporizar el agua que se forma durante la combustión) del residuo y de la energía térmica que se genera en el proceso. Los demás ingresos de los materiales recuperados pueden ignorarse debido a que estos ingresos de mercado requieren tarifas adicionales o subsidios para cubrir todos los costos debido a que no serán suficientes por sí solos (Melo Mina, 2013) aunque un factor desestimulante es “El impuesto ambiental ya que estimula la adopción de tecnologías de energía renovable en los países desarrollados, mientras que disminuye la adopción de tecnologías de energía renovable en los países en desarrollo”. (Nchofoung, T. N., Fotio, H. K. & Miamo, C. W, 2023).

Tabla 2 El procesamiento y co-combustión. Estimaciones de costos individuales de plantas de IRSU para países industrializados y emergentes.

Estimación de costos de una IRSU en países industrializados y emergentes - las cifras indicativas						
Capacidad de incineración 150,000 t/a	Inversión inicial	Costo de capital por tonelada de residuo	Costos de O y M por ton	Costo total por tonelada	Ingresos por la venta de energía por tonelada	Costo por cubrirse por tonelada de residuo
Base de costos en la UE (config. técnica avanzada, 2 líneas de hornos)	135 - 185 millones EUR	80 - 115 EUR/t	180 EUR/t	260 - 295 EUR/t	60 EUR/t (calor y electricidad) 27 EUR/t (electricidad)	200 - 235 EUR/t
Base de costos en países emergente (config. técnica básica, 1 línea de horno)	30 - 75 millones EUR	22 - 55 EUR/t	20 - 35 EUR/t	42 - 90 EUR/t	2 - 10 EUR/t (electricidad)	40 - 80 EUR/t

Fuente: (Mutz, Hengevoss, Hugi, & Gross, 2017)

Para las estimaciones que se muestran en la Tabla 2, los costos se derivaron de plantas IRSU suizas con altos estándares técnicos y se ajustaron a una planta IRSU con configuración básica para países emergentes. Ej. Los costos de inversión se calculan del 20% al 40% de los costos de Suiza, mantenimiento y materiales auxiliares del 20% al 50%, personal y costos de disposición o de escoria del 10% al 20%, y costos del seguro al 50%. Ambos estándares deben cumplir con los estándares de emisiones nacionales e internacionales. Las principales diferencias son el diseño arquitectónico, el número de líneas de hornos, el nivel de automatización y la calidad de los materiales utilizados en la planta. Supuestos de la estimación: índice de utilización del 100% durante una vida útil de 15-20 años, tasa de interés anual del 6% .

Para los autores Mutz, Hengevoss, Hugi, y Gross (2017, pg.26) una planta IRSU con la capacidad de tratar 150,000 toneladas métricas de residuos al año como lo muestra la Tabla 2, los ingresos de mercado de las ventas de energía y materiales no son suficientes para cubrir el costo anual completo de la planta, y los costos netos esperados de 40 a 80 EUR por tonelada métrica de residuo, es por tal motivo que deben ser cubiertos por otros medios de financiamiento y que se cuente con ingresos adicionales de tarifas, subsidios públicos u otros fondos para asegurar la cobertura del financiamiento de las operaciones en forma sostenible en el largo plazo y de los costos totales.

La información relacionada anteriormente, proporciona los elementos de juicio técnico que se deben tener en cuenta para ejecutar este tipo de proyecto en una ciudad como Medellín, lo cual sería de gran importancia puesto que es la segunda ciudad con mayor población de Colombia y a su vez el segundo centro económico más importante del país. Según datos de la Secretaría de Gestión y Control Territorial y Secretaria de medio Ambiente (2015), la población de Medellín se estimó en 2'519.157 habitantes en el año 2017 y la generación promedio de RSU fue aproximadamente de 1.838 toneladas/día, con una generación per cápita de 0,73 kg/Hab/día, indicador que se sostiene en el tiempo según cifras del informe

de Calidad de Vida, (2019) y se ha mantenido relativamente estable, con un valor promedio de 0,53 kg/Hab/día por habitante, exponiendo una leve mejora en comparación según datos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2006).

Las proyecciones indican que los RSU generados en Medellín que provienen del sector residencial, para el año 2025 la producción será 2.350 toneladas/día, es decir el 64%, mientras que el aporte de los sectores comercial, industrial, institucional, hospitalario y público se distribuyen en 13,4%, 11,2%, 5,8%, 2,8% y 2,8% respectivamente. La cobertura de recolección de RSU en Medellín es del 100%, y el principal método de disposición es el relleno sanitario (Montiel-Bohórquez & Pérez, 2019).

Para la ciudad de Medellín según la Secretaría de Gestión y Control Territorial y Secretaria de medio Ambiente (2015), la tasa de producción de RSU que se estimó para el año 2017 fue de 1.838 ton/día, equivalente a un flujo másico de 21,27 kg/s. La fracción de los RSU que se considera aprovechable energéticamente corresponde al 86,74% del total de RSU generados (ver tabla 3 y 4). Además, se estimó que el contenido de humedad de la fracción aprovechable es de 48,5% y el poder calorífico inferior de los RSU en base seca es 19,46 MJ/kg. Y de 15% a 24% aproximadamente es la eficiencia global de las plantas de generación eléctrica basadas en incineración y turbinas de vapor (Arena, 2012).

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Tabla 3. Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) adecuados para Residuo-a-Energía (RAE)

Análisis último en base seca	Masa (%)
C	49,24
H	6,51
O	36,09
N	1,99
S	0,31
Ceniza	5,86
Formula de sustitución	$C_{1}H_{1,5708}O_{0,5502}N_{0,0346}S_{0,0024}$
Relación RSU/aire estequiométrica	0,1492
Entalpía de formación [kJ/kmol]	$- 1.373,6 \times 10^2$
PCI _{base seca} [kJ/kg]	19.460

Fuente: (Montiel-Bohórquez & Pérez, 2019)

Tabla 4. Composición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en Medellín y otras grandes ciudades

% Recuperable	27%	24%	35%	18%	26%
Detalle	Medellín	Bogotá	Manizales	Bucaramanga	Barranquilla
Materia orgánica	59%	60%	43%	52%	65%
Papel	10%	5%	4%	6%	3%
Cartón	2%	4%	7%		3%
Plástico	11%	11%	18%	7%	17%
Vidrio	3%	3%	5%	3%	2%
Caucho y cuero	-	0%	-	1%	
Metales	1%	1%	1%	1%	1%
Tetrapack	-	-	-	-	-
Textiles	0%	1%	9%	3%	4%
Madera	-	0%	-	-	1%
Escombros, cerámicos	-	1%	-	-	
Electrónicos	-	-	-	-	-
Ordinarios e inertes	13%	-	-	-	
Peligrosos	-	12%	-	-	-
Otros	-	1%	12%	14%	3%
Total	100%	100%	99%	87%	98%

Fuente: Corporación Ruta N (2016).

Con la anterior información (tablas 2,3 y 4), se estimaría que de los RSU que se generan en la ciudad de Medellín, y según la Unidad de Planeación Minero-Energética (2017), "se tiene un potencial energético-eléctrico que variaría entre 27,7 MWe y 44,4 MWe, esta potencia podría suministrar la electricidad a 53.353 y 85.519 hogares, respectivamente, con un consumo promedio de energía per cápita de 1,137 MWh/año" (Montiel-Bohórquez & Pérez, 2019, pág. 278).

El procesamiento y co-combustión de 1 tonelada métrica de RSU en una moderna planta de energía WTE genera 600 kWh de electricidad el cual puede ser comercializado y suministrado al sistema interconectado, evitando así la extracción de 1/4 toneladas de carbón de alta calidad o la importación de un barril de petróleo. (Birch, 2014). Cabe acotar que el concepto de modernidad en palabras de Mondal & Yadav, (2018) hace referencia a mejoras técnicas en los sistemas de combustión que permiten aumentar la eficiencia y en los sistemas de control de gases permiten mitigar y limpiar las partículas o emisiones contaminantes del proceso de combustión que se emiten a la atmosfera por medio de la chimenea.

Estos antecedentes indican que tentativamente en Medellín diariamente se estaría produciendo y comercializando hasta 1GWh de electricidad superando en producción a las unidades de centrales hidroeléctricas. Además de tener reducciones de hasta un 80% en volumen, respecto de la disposición final para vertederos, evitando invertir en la construcción y mantenimiento de relleno sanitario, solucionando los impactos por contaminación de los mantos freáticos, ríos, pozos, mar y propiciando la generación de nuevas fuentes de empleo (AlQattan, 2018).

Preguntas de Investigación

Como plan de Adopción el ejercicio pretende la elaboración de un análisis funcional que define los requerimientos y expone el planteamiento de la tecnología WtE para la Implementación, construcción y/o operación de tecnologías de aprovechamiento energético de residuos. Si bien WTE, acrónimo de Waste to Energy, está definido como el conjunto de procesos administrativos y tecnológicos para la disposición y valoración energética para el tratamiento térmico de residuos sólidos urbanos con recuperación de energía y es actualmente la alternativa integral, masivamente acogida en países del continente asiático, Europa y varias ciudades de Estados Unidos y Canadá.

Dados estos precedentes técnicos se presenta la siguiente pregunta de investigación:

“¿Cómo implementar un proceso WtE como una alternativa para el procesamiento sostenible y aprovechamiento de los RSU en Medellín?”

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer un plan de adopción Tecnológica para tecnologías “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Medellín.

Objetivos Específicos

1. Determinar los requerimientos para la implementación de plantas “Waste to Energy”
2. Valorar las condiciones actuales de la ciudad de Medellín para la implementación de plantas “Waste to Energy
3. Estructurar elementos de adopción y actividades específicas para la consolidación de una planta WtE en Medellín

1. Marco Teórico

Las centrales térmicas de generación eléctrica cuyo combustible es el residuo sólido urbano (las basuras) se rigen bajo un proceso térmico de termovalorización de residuos lo que puede definirse sintéticamente como la conversión de desechos sólidos a productos energéticamente aprovechables como pellets de RSU, líquidos o gaseosos (Syngas), con la liberación simultánea o posterior, de energía calorífica y su aprovechamiento en procesos de cogeneración para la producción de electricidad. En los Ítems subsiguientes se abordarán los aspectos teóricos fundamentales para comprender el universo de la gestión de residuos sólidos urbanos mediante herramientas o elementos ingenieriles del conjunto de procesos denominado Waste to energy o energy from Waste.

En función de los Términos y conceptos asociados a la tecnología WtE la investigación propone dar a conocer los elementos clave en el proceso de la adopción tecnológica de plantas "WASTE TO ENERGY" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos y su relevancia en la gestión energética , además con base en dichos elementos de adopción comprender a qué segmentación de usuario en términos de innovación tecnológica y a cual categoría de adoptante de dicha tecnología pertenece nuestra sociedad: innovadores (2,5%), primeros adoptantes (13,5%), mayoría temprana (34%), mayoría tardía (34%) o rezagados (16%) según referencia a la teoría de difusión de la innovación Rogers (1995) y de este modo tener el insumos científico-técnicos para desarrollar un contexto teórico para un plan adopción de innovación tecnológica exitosa para un proceso limpio de producción de energía renovable no convencional que tentativamente proporcionará mayor ventaja competitiva al sector energético colombiano.

1.1 Precedentes Sociotécnicos

Ante los nuevos paradigmas como la revolución tecnológica, la globalización económica y la mundialización de la gobernanza, es una necesidad tácita adoptar e implementar nuevas tecnologías de gestión de residuos, incluida la valorización energética de estos para mejorar el reciclaje, la recuperación ambiental y reducir los vertederos (o aumentar la vida útil de los mismos); en tanto que la urbanización, los mayores ingresos personales y familiares, y la migración, presionan una gran demanda de bienes y servicios, es decir el consumo, lo cual trae consigo un creciente aumento en la generación y composición de residuos sólidos. Es así como esta situación obliga a los estados a pensar en un “enfoque estratégico privilegiando la prevención” en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) (Campani, Tello Espinoza, & Sarafian, 2018).

Poco a poco las plantas de conversión de residuos en energía se integrarán cada vez más en el tejido urbano y generarán múltiples oportunidades para los ciudadanos, al tiempo que salvaguardan el medio ambiente. Su gran escala permitirá integrarse a la arquitectura de las ciudades para sensibilizar a los ciudadanos sobre la gestión de residuos y los beneficios asociados tanto en reducción de emisiones como en la generación de electricidad. WtE hace referencia a una gama de enfoques y técnicas para obtener energía desde el uso de residuos sólidos como combustible en procesos como la incineración, la pirólisis, la gasificación por plasma, la digestión anaeróbica y la combustión en las plantas industriales existentes (Machrafi, 2012). Por y para ello, los gobiernos y/o empresas que se dedican al amplio panorama de gestión de los residuos deben planificar una estrategia mancomunada o no, y dedicar el tiempo, estrategias y recursos para estar preparados para el cambio de modelo en el negocio de gestión de residuos, la generación energética y la gestión de energía como tal.

Se requiere de una visión estratégica de largo plazo, para la planeación sustentable de los RSU, pues la instrumentación del enfoque de gestión sustentable de estos, demanda

cambios de sus estructuras normativas debido a que es necesario la ampliación de responsabilidades, que van más allá de la gestión operativa, para así contar con un área de planeación que permita realizar el seguimiento a través de las administraciones a programas y proyectos, realizar evaluaciones y mantener la comunicación con la sociedad para retroalimentar dicha gestión (Calva-Alejo & Rojas-Caldelas, 2014). Los gobiernos para poder avanzar deben cerciorarse en el cumplimiento de la ley por las autoridades competentes y por aquellos que las generan, dando esto como resultado el éxito de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en los países, creando a su vez un ambiente de confianza y de concertación de intereses; en algunas ocasiones los objetivos establecidos han llegado al fracaso debido a que las reglas de juego no se aplican en su totalidad (Campani, Tello Espinoza, & Sarafian, 2018).

1.2 Justificación Temática

La vigilancia permite generar ventajas competitivas a partir de un adecuado empleo de la información en especial si hay una rigurosa y asertiva búsqueda e investigación de lo que se desconoce, con base en este enfoque se pretende desarrollar una vigilancia tecnológica alrededor del concepto Waste to Energy “WtE” e identificar a partir de él, las tecnologías disponibles y las emergentes capaces de intervenir en nuevos productos o procesos que se involucran en la gestión de residuos sólidos urbanos y con base en el estudio tomar decisiones estratégicas, conocer los posibles mercados, las estrategias de los competidores, las oportunidades y amenazas tecnológicas, las regulaciones del gobierno o los acontecimientos políticos que afecten u obstruyan la práctica organizada del objeto bajo análisis.

Se pretende una vigilancia sistemática y estratégica, para obtener resultados tangibles desde el sentido de la “actividad investigadora”, es decir obtener datos y conocimientos certificados que permitan dar lugar a innovaciones, contribuir a actuaciones de interés

general y fomentar actividades de formación y difusión de dichos conocimientos, entre los que las publicaciones científicas ocupan un lugar preeminente (Callon, Courtial y Penan, 1995). Para el caso en estudio, la línea temática Waste to Energy "WtE"; realizando una respectiva observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, social o comercial, relevantes y poder implicar una debida oportunidad o amenaza para esta tecnología aplicable en la gestión de residuos sólidos urbanos de modo integral, con objeto de poder tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios. La detección de estos cambios y las nuevas tecnologías, los procesos innovadores y patentes en desarrollo nos darán los argumentos técnicos con la suficiente antelación para poder evaluarlos y, en consecuencia, adaptarnos, adoptarlos o explotarlos.

Una vigilancia tecnológica de Waste to Energy Process (WtE) no solo conlleva a definir que WtE es una tecnología de tratamiento térmico (incineración o gasificación) con recuperación de energía, que se ha convertido en una de las opciones preferidas en la mayoría de los países del norte de Europa, Japón, incluidas varias ciudades de los EE.UU., y cada vez más en China, sino que, además podría hipotéticamente ser el insumo para determinar los requerimientos de implementación para tecnologías WtE en el país; y además, valorar las condiciones actuales para una posible implementación, estructurando los elementos de adopción o detallar las actividades específicas para consolidar una planta como alternativa sostenible en el tratamiento integral de residuos sólidos urbanos para la ciudad de Medellín.

Se espera como resultado de la vigilancia un documento como insumo de orientación técnico, destinada a proveer información tecnológica, financiera y ambiental básica sobre las instalaciones WtE que permita detectar los cambios sobre nuevas tecnologías, mercados, competidores, medio ambiente, reducir riesgos, detectar amenazas, conocerlas patentes, productos, reglamentaciones, alianzas entre potenciales competidores, tipos de

inversiones realizables, detectar los desfases entre nuestras técnicas y las necesidades de la población, identificar nuestras capacidades y las de otros actores en este nicho temático, poder innovar: detectar nuevas ideas u otras soluciones, e incluso economías y ejercicios de I+D aplicables con las posibles propuestas de integración o participación de partners, clientes, expertos, socios; objetos todos ellos de un ejercicio responsable de vigilancia tecnológica de Waste to Energy.

1.3 Limitaciones y alcance de la tecnología para obtener energía eléctrica a partir del RSU

Uno de los limitantes fundamentales para enfrentar al momento de la implementación de proyectos WtE, es el control de la ecuación: Producción > Consumo > Generación > Descarga, donde la sugerencia es tener en cuenta los aspectos que pueden perjudicar y convertirse en una barrera para lograr el objetivo de minimizar la descarga y la prestación eficiente del servicio público. Para asegurar el éxito, la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos necesita de la activa participación de los gestores del servicio público y de una atención conjunta en aspectos legales, regulatorios y de planificación Nacional, al igual que este sector de la GRSU cuente con la efectividad de las Organizaciones Públicas, Privadas, Municipales y Sociales (Campani, Tello Espinoza, & Sarafian, 2018); pues la sustentabilidad debe ser reforzada con actores externos como empresarios, academia y organizaciones de la sociedad civil, los cuales que colaboren junto con estas autoridades competentes en la gestión RSU para diseñar estrategias financieras, generar información confiable, desarrollar investigación y tecnología apropiada, desarrollar indicadores para el monitoreo, capacitar y profesionalizar al personal y reforzar los programas de educación ambiental (Calva-Alejo & Rojas-Caldelas, 2014).

Es de suma relevancia tener presente que en términos socioeconómicos “el costo social de una gestión fallida es alto y decepcionante. La sumatoria de problemas de diversa índole es

sensible a la opinión pública y llega a debilitar la credibilidad y legitimidad de la autoridad competente” (Campani, Tello Espinoza, & Sarafian, 2018, pág. 11). En la parte económica es importante reforzar la iniciativa privada y organizaciones de la sociedad civil, en la promoción de circuitos de mercados y la formación de clústeres de empresas asociadas por parte de las autoridades; plantear estrategias que involucren a los diferentes actores, trae beneficios debido a que la actuación de los empresarios o comerciantes son clave en la reutilización y reciclado.

1.4 Marco contextual Para tecnologías WtE

La gestión de residuos sólidos urbanos ha tenido un análisis u óptica de estudio desde la ingeniería, situación que ha llevado a que la literatura y artículos científicos de tipo técnico y ambiental sea mayor en contraste con la literatura en términos de ciencias económicas o administrativas hasta fechas recientes en la que algunos afirman: «el problema de la gestión de residuos sólidos proviene de la falta de reconocimiento hacia la naturaleza económica del problema (...) esta situación está empezando a cambiar, pero el cambio ha sido demasiado lento para evitar la crisis actual» (Goddard, 1995, pág. 188).

Es de resaltar que en la actualidad la situación mantiene la problemática expuesta por Goddard en la cita anterior tanto en la percepción del problema en sentido energético como de disposición y gestión de los residuos sólidos, para cambiar este ritmo la ONU para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible propone un enfoque en el concepto desde la filosofía de la economía circular. Es necesario explorar todas las opciones sostenibles posibles en diferentes sectores ya que, hasta la fecha, las evaluaciones de sostenibilidad de las tecnologías de generación de energía a partir de residuos (WtE) se han limitado en escala con respecto al marco de sostenibilidad tridimensional; económico, ambiental y social. (Imran Khan, Zobaidul Kabir, 2020).

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

En la figura 1 puede observarse los países con mayor aprovechamiento de residuos en generación eléctrica y térmica a excepción de China, Nigeria e Irak, estos países son considerados los más sostenibles.



Figura 1. Países con mayor aprovechamiento de residuos para generación eléctrica y térmica

Fuente: Corporación Ruta N (2016).

El número de plantas Waste to energy en el mundo esta alrededor de 1.618; 512 en Europa, 822 en Japón, 88 en estados unidos y 166 en China (Scarlat et al, 2.018). No obstante, es un dato variable debido al cierre y apertura de nuevas plantas con base en la antigüedad de su ingeniería, la obsolescencia de sus proceso tecnológico, Norteamérica por ejemplo para el año 2020 y según la agencia gubernamental estadounidense de protección al medio ambiente - U.S.EPA -Environmental Protection Agency- expone que “...existen 86 instalaciones en Estados Unidos para la combustión de residuos sólidos urbanos (RSU), con recuperación de energía. Estas instalaciones están ubicadas en 25 estados, principalmente en el Noreste. No se han construido nuevas plantas en los EE. UU. Desde 1995, pero algunas plantas se han expandido para manejar desechos adicionales y generar más energía. Las 86 instalaciones tienen la capacidad de producir 2.720 megavatios de energía al año

procesando más de 28 millones de toneladas de residuos al año”. (U.S.A Environmental Protection Agency, 2.016).

Las tecnologías para la obtención de energía a partir de residuos sólidos o desechos se implementan principalmente en cuatro regiones del mundo: 1. Europa, principalmente Alemania, países escandinavos (Noruega, Suecia, Dinamarca), Francia, Países Bajos, Italia, Reino Unido (alrededor de 500 instalaciones); 2. Estados Unidos (alrededor de 88 instalaciones); 3. Japón (alrededor de 1.000 instalaciones); 4. China y Corea del Sur (promedio de 120 instalaciones, creciendo rápidamente) (Carabin & Holcroft, 2005). La constante en número de plantas se debe mínimo cierre por obsolescencia tecnológica y la no apertura de nuevas plantas por los costes elevados de estas tecnologías y debido a la apertura de nuevas líneas de negocio por parte de los administradores de las plantas existentes además de la expansión a mercados además del factor de vida útil de una planta de 30 años antes de modificaciones (U.S. EPA, 2016).

El término Waste-to-Energy o su abreviatura –WtE- hace referencia a una amplia gama de enfoques y técnicas para obtener energía desde el uso de residuos sólidos como combustible en procesos como la pirólisis, la gasificación, la gasificación por plasma, la digestión anaeróbica y la combustión en las plantas industriales existentes, (Machrafi, 2012). Teniendo en cuenta lo anterior, podemos definir una planta WtE como el conjunto de procesos administrativos sincronizados con un equipamiento mecánico, técnico, ambiental e ingenieril que mediante tecnologías térmicas y termodinámicas controladas, conforman una gestión de residuos sólidos desde su producción en el hogar o industria hasta su disposición final como combustible líquido, vapor o insumo directo para la producción de energía eléctrica y la disposición de ésta para uso interno, doméstico o comercialización en el sistema eléctrico local.

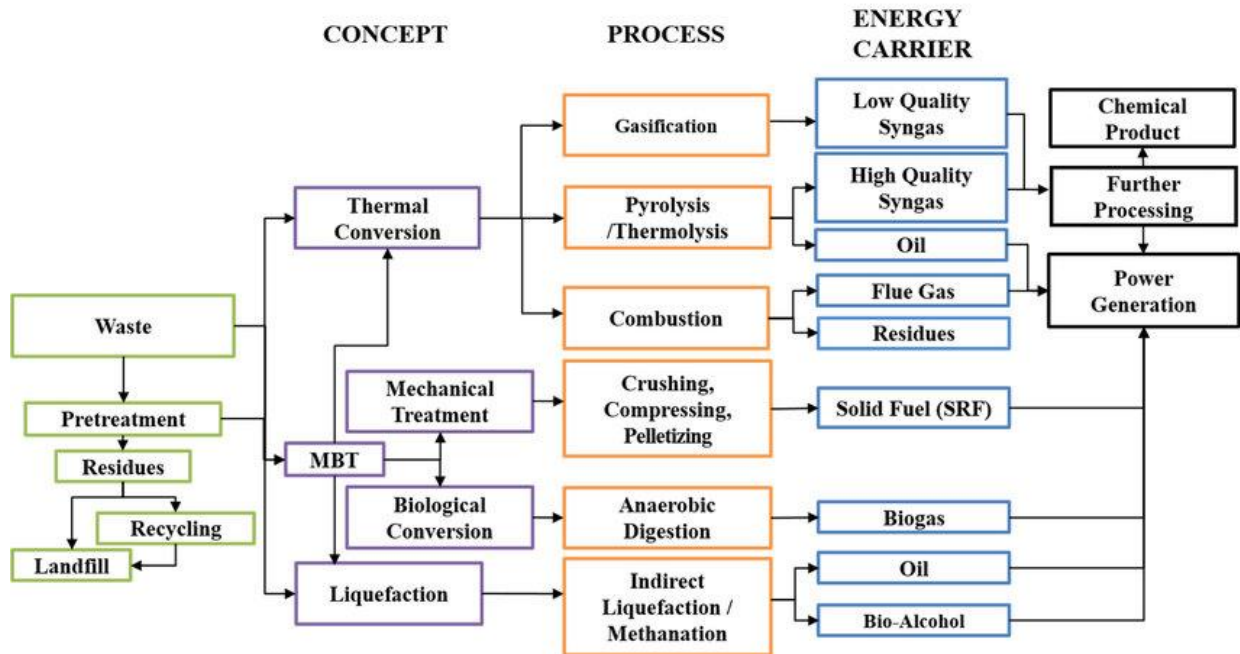


Figura 2: Tecnologías de conversión de residuos en energía

Fuente: Lee et al (2020).

Dependiendo del proceso hay desarrolladas e implementadas diferentes Tecnologías de conversión de residuos en energía, Es decir desde la estructura mecánica, termodinámica y/o física-Químico que es empleado para la termo-destrucción de los RSU y su termovaloración en la producción de energía como se expone en la figura 2; tanto en vapor como para energía eléctrica podemos destacar los siguientes procesos como los más difundidos en la obtención de recursos energéticos a partir de desechos municipales:

1.4.1 La pirólisis

Proceso endotérmico en el cual se suministra calor a un reactor, este tipo de tecnología es utilizada para la destrucción directa de los desechos en general, la metodología 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). Las tecnologías actuales deben cumplir los más altos estándares

ambientales respecto de gases contaminantes liberados a la atmosfera; en ese sentido, las emisiones de dioxinas y furanos pueden reducirse mediante el sistema de filtrado de gases con depurador y filtros de mangas (Mukherjee et al. 2016).

1.4.2 La gasificación

Para realizar este proceso se utiliza una cantidad relativamente pequeña de oxígeno o vapor de agua para convertir los compuestos orgánicos en un gas combustible. La recuperación o transformación de energía en plantas de gasificación de residuos de biomasa a partir de desechos sólidos municipales reduce la contaminación por emisiones aire/agua. 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).

1.4.3 Gasificación por plasma

La gasificación con arco de plasma utiliza electrodos de carbono, de cobre, tungsteno, hafnio o zirconio para alcanzar las temperaturas de gasificación. La gasificación y la pirólisis, también es llamada "pirólisis de plasma", son consideradas como una alternativa técnica y financieramente viables a la incineración de residuos y gozan de una excelente reputación en el aspecto de la calidad de tecnologías no contaminantes.

La temperatura de plasma oscila entre 2200-11000 °C, lo que crea un sustrato denominado gas de síntesis o Syngas, de alto valor. Esta tecnología puede utilizarse para reducir residuos, incluso peligrosos y todavía generar energía. Esta es una tecnología revolucionaria que puede tratar prácticamente cualquier tipo de residuo o desecho sólido combinando la gasificación con la vitrificación. La vitrificación produce escoria inerte que se puede utilizar como material de construcción. La gasificación produce un gas combustible que contiene

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), utilizado para la cogeneración de electricidad y/o vapor. (Carabin & Holcroft, 2005).

Si bien estos procesos previamente descritos no son los únicos, es de resaltar que paralelo a ellos siempre es prioritario el elemento de separación en la fuente. Dicha clasificación de residuos entre Biomasa, plásticos, metales y vidrio optimiza la eficiencia energética de la planta WtE. Aunque no es obligatorio, mandatorio o excluyente en el funcionamiento del proceso de termodestrucción, si es posible un incremento sustancial de la eficiencia energética y promueve a su vez una cultura de uso racional de los recursos naturales y masificación cultural y social del reciclaje.

1.5 Componentes y subcomponentes de la tecnología

Una planta moderna WtE o una instalación de última generación están acopladas no solo con componentes, subcomponentes y mecanismos para recuperar calor y energía en plantas combinadas de calor y electricidad (Ver figura 3); sino también, con mecanismos sofisticados para limpiar los gases de combustión, utilizar aguas residuales y asimilar diversas corrientes de desechos con alta eficiencia. Este concepto de modernidad en palabras de Mondal & Yadav, (2018) hace referencia a mejoras técnicas en los sistemas de combustión que permiten aumentar la eficiencia y en los sistemas de control de gases permiten mitigar y limpiar las partículas o emisiones contaminantes del proceso de combustión que se emiten a la atmosfera por medio de la chimenea.

Para las tecnologías de tratamiento de residuos la elección de estas puede desempeñar un papel importante en el cumplimiento de la mayor parte de las necesidades y determina en gran medida el éxito de un sistema integral de gestión de residuos sólidos. Sin embargo, no existe una tecnología de tratamiento de residuos que se ajuste perfectamente a todas las áreas y a todos los tipos de residuos por patrones culturales de disposición de desechos

como el no hábito de reciclar o separar en la fuente. A modo general se describirán las componentes básicas de un sistema Waste to Energy y sus subcomponentes.

1.5.1. Componentes del proceso Waste to Energy

Recepción y almacenamiento de residuos: los residuos sólidos urbanos se transportan en camiones compactadores, requiriéndose una preclasificación y comprobación del tipo correcto antes de almacenarlos en la zona de búnker. Normalmente, un operador de grúa realiza una selección de material, que filtra piezas grandes para evitar que atascos en la línea.

Combustión y caldera: convierte los residuos sólidos urbanos e industriales en electricidad y/o calor para procesamiento industrial y para sistemas de calefacción, son un medio ecológicamente racional y rentable de recuperación de energía. La unidad quema los desechos a altas temperaturas y utiliza el calor para producir vapor. Luego, el vapor impulsa una turbina que genera electricidad.

Recuperación de energía: la Sección de recuperación de energía es normalmente, una caldera que produce vapor recalentado para su uso en producción eléctrica mediante una turbina acoplada aun generador de electricidad.

Tratamiento de gases de combustión: independientemente de DeNOx, que puede ser catalítica o no, el FGC se base normalmente en tres posibles procesos:

- 1) *Sistema seco:* los contaminantes son absorbidos por la inyección de cal o bicarbonatos aguas arriba en un filtro de bolsa y los elementos de metales pesados y dioxinas se adsorben por inyección activa de carbono.
- 2) *Semi seco (semi húmedo):* estos se enfrían con los gases de escape externos a la caldera mediante la inyección de lechada de cal en un reactor de tipo especial. Aguas abajo, se inyecta sorbente adicional y carbono activo antes de entrar al filtro de bolsa.

- 3) *Húmedo*: Los gases de escape externos a la caldera pasan por un elemento de separación denominado electrofiltro, luego se enfrían y saturan completamente en un lavador de gases ácido, donde se puede recuperar HCL para usarlo en otros procesos como el lavado de cenizas volantes, y se eliminan metales pesados. Los gases saturados fluyen por un lavador neutro / alcalino donde se elimina completamente el SO₂. Las dioxinas se eliminan en un filtro de bolsa mediante la inyección de carbono activo al final de la línea, o mediante el uso de un reactor catalítico DeNO_x/DeDiox. El lavador alcalino se puede diseñar para permitir la condensación de gases de escape, mejorando así la eficiencia energética y de eliminación de la planta.

Manejo de residuos: La disposición de escorias del fondo se soluciona eliminando el hierro y luego se envían a recuperación de material, ya que no son peligrosas. A pesar de la complejidad de las tecnologías implicadas en el diseño del aprovechamiento energético de residuos, es una forma más sostenible de tratar los residuos sólidos urbanos que los vertederos. Dentro de las ventajas encontramos que se protege el subsuelo y las aguas subterráneas de la contaminación por lixiviados, se evita que los microplásticos lleguen a los ríos y océanos, además se evita emisiones de metano producto de la fermentación de la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos. El metano tiene un efecto invernadero 25 veces mayor que el CO₂.”

En 2015, la Unión Europea adoptó un plan para acelerar la transición hacia una economía circular, definido como un modelo en el que “el valor de los productos, materiales y recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos”. (European Environmental Agency, 2016).

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

En la figura 3 se puede observar la Imagen representativa de la tecnología de los componentes.

En esencia, una economía circular representa una alternativa fundamental al modelo

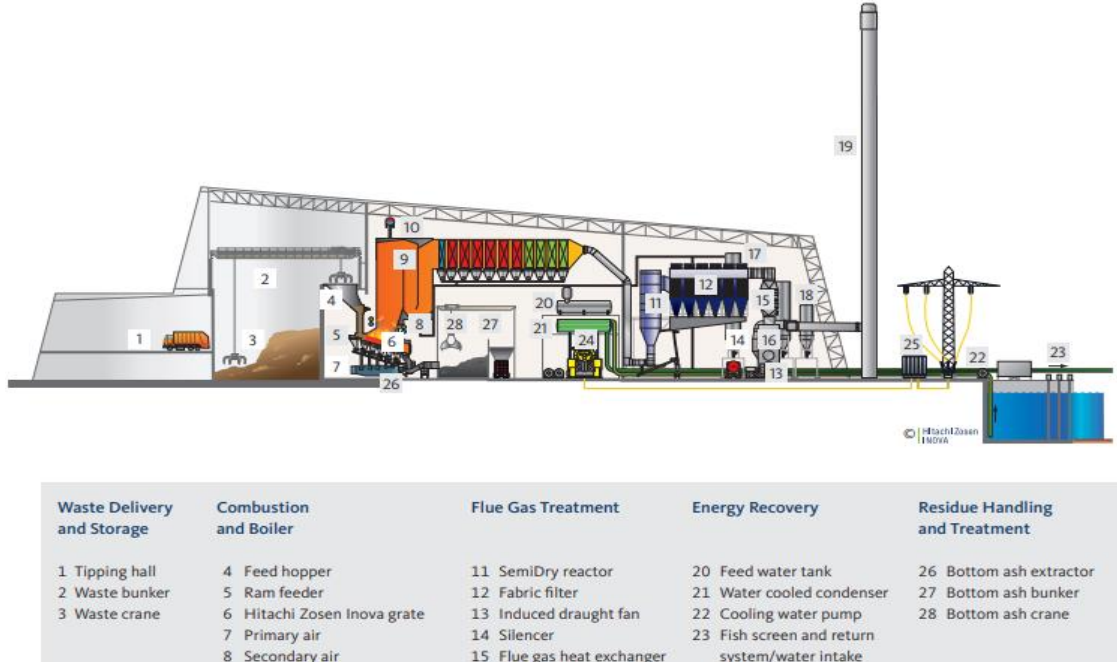


Figura 3. Componentes y subcomponentes de la Tecnología Waste to Energy

Fuente: Energy from Waste, Hitachi Zosen Inova AG, 2020 (<https://www.hz-inova.com/energy-from-waste/>)

económico lineal de tomar-fabricar-consumir-disponer que actualmente predomina, aplicable también en la gestión de residuos sólidos, sobre todo en la etapa de disposición final o depósito en vertedero. Este modelo lineal se basa en el supuesto de que los recursos naturales están disponibles, abundante, fácil de obtener y barato de eliminar, pero no es sostenible, ya que el mundo avanza hacia, y en algunos casos excede los límites planetarios (Steffen et al., 2015), Los parámetros relevantes son la eficiencia energética total y la proporción de energías renovables, que deberían aumentar en comparación con el modelo lineal. Las implicaciones para la incineración no son sencillas. Mientras que la energía recuperada mediante incineración puede compensar en parte el uso de combustibles (fósiles) con procedimientos como los mostrados en las figura 3 y 4.

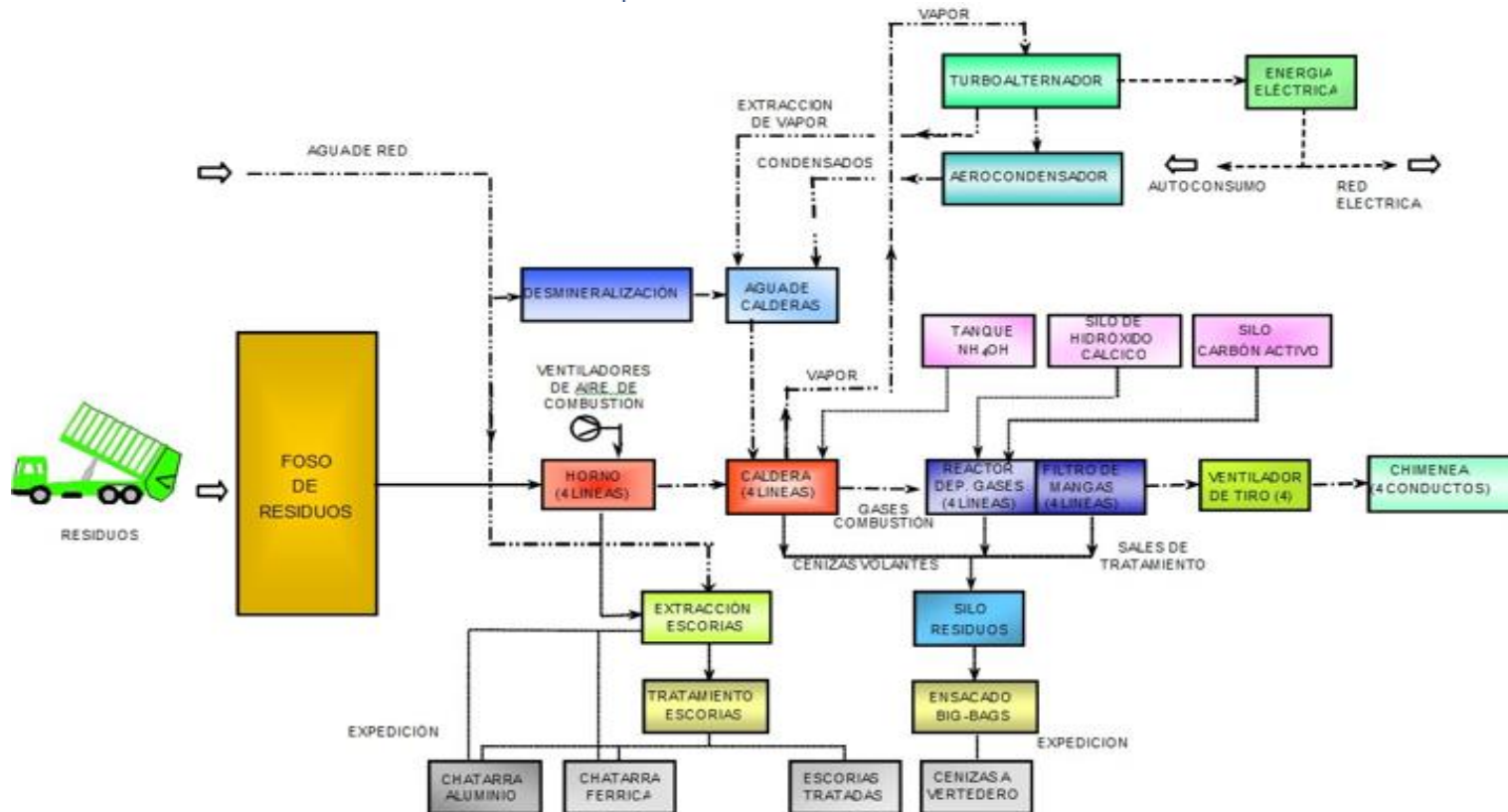


Figura 4. Esquema de bloques del proceso de valorización energética de RSU.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México (2017).

Durante la incineración se generan gases de escape que, después de su limpieza, se liberan a la atmósfera a través de una tubería y canal llamado conducto. Estos gases de combustión contienen la mayor parte de la energía disponible de los combustibles en la forma de calor, al igual que polvos y contaminantes gaseosos del aire que deben eliminarse mediante un proceso de purificación del gas de combustión.

El calor excesivo de la combustión se puede usar para generar vapor y producir electricidad, para calentamiento/enfriamiento por redes o para suministrar vapor a procesos industriales cercanos. Los componentes esquemáticos de una planta WtE están ilustrados en la Figura 5, estas plantas que utilizan el sistema de cogeneración de energía térmica (calentamiento y enfriamiento) junto con la generación de electricidad pueden alcanzar eficiencias óptimas de un 80%, mientras que la generación de electricidad por sí sola únicamente alcanzará eficiencias máximas de tan solo 20% (Mutz, Hengevoss, Hugi, & Gross, 2017).

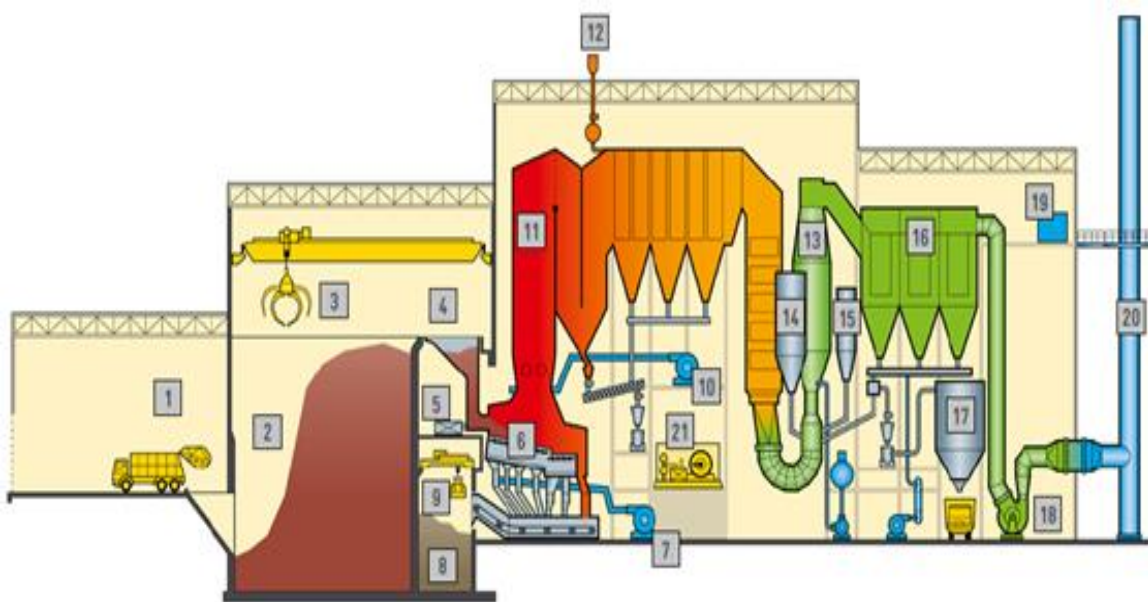


Figura 5. Componentes de una planta de incineración de RSU con limpieza de gases de combustión vía húmeda, **Fuente:** Comisión Europea ,2006

Respecto de la componente termovalorización o incineración los materiales combustibles en los residuos estos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y entrar en contacto con oxígeno, sufriendo una reacción de oxidación. La temperatura de la reacción está entre 850°C y 1,450°C, y el proceso de combustión ocurre en la fase gaseosa y sólida, liberando simultáneamente energía térmica. Se requiere un poder calorífico mínimo de los residuos para permitir la reacción térmica en cadena y la combustión autosostenible (llamada combustión autotérmica), es decir, no hay necesidad de agregar otros combustibles.

1.6 WtE aplicado a la gestión Integral de residuos sólidos

La gestión Integral de residuos sólidos y en relación con los componentes de recolección en la fuente (hogares), separación y clasificación (en el hogar o en un punto de recolección intermedio) y la entrega de residuos, vale la pena mencionar que para América Latina y el Caribe, el tema de los residuos en cuanto a su separación, se encuentra en estado incipiente, en algunos países a través de leyes, se ha regulado la implementación del sistema por parte de los generadores de residuos pero en la práctica no ha sido aplicado (OPS, 2005; Peralta y col, 2011; Noguera 2010); esto debido a deficientes políticas y estrategias de implementación por parte de los prestadores del servicio de aseo urbano, por la falta de disposición de los usuarios o generadores, o por la inexistencia de conciencia ecológica de ambas partes. (Sáez & Urdaneta G., 2014).

En los países de Latinoamérica y El Caribe la separación de componentes y el reciclaje de residuos sólidos que se realizan por el sector formal son reducidas; el reciclaje es realizado por sectores informales, los cuales separan los componentes de los residuos sólidos en los sitios de almacenamiento en el origen o en los sitios de disposición final; Wamsler (2000)

afirmó que en países como México, Chile y Brasil se han realizado avances en la formalización del sector de recolección informal.

Verisk Maplecroft (2019) ha medido la generación y el reciclaje de residuos para observar el desempeño de 194 países y descubrir una imagen global de cómo los países están lidiando con los desechos que producen en un momento en el que el mundo se enfrenta a una creciente crisis, impulsada principalmente por los plásticos; este índice de reciclaje es el que captura la voluntad y la capacidad de los países para gestionar sólidos, desperdiciar y promover flujos circulares de material midiendo las tasas nacionales de reciclaje, recolección y eliminación, así como el compromiso del gobierno con los tratados internacionales sobre residuos.

La Tabla 5 resume la situación en materia de tratamiento y reciclaje de residuos sólidos en algunos países de América Latina y El Caribe; en esta puede observarse a excepción de Venezuela (donde predomina el reciclaje de metales), que en la mayoría de los países las actividades de reciclaje están orientadas al aprovechamiento del papel y cartón y de la materia orgánica, la OPS (2005) menciona que existe una tendencia al aumento de reciclaje de plásticos, debido a cambios en los patrones de consumo. El reciclaje en estos países no es económicamente atractivo, en muchas situaciones resulta más económico utilizar la materia prima original que reciclar, esto genera poco incentivo para desarrollar tecnologías de reciclaje (Cabrejo Amórtegui, 2018, pág. 45).

Tabla 5. Situación de las actividades de tratamiento en algunos países de América Latina y El Caribe

País	Iniciativa
México	<ul style="list-style-type: none"> •Desde 1994 se instalaron plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos con una capacidad de 5500 ton/día •En la ciudad de México opera una planta pequeña para la elaboración de composta a partir de residuos de jardinería
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> •País latinoamericano con la tasa más alta de reciclaje de papel y cartón con 57 toneladas recicladas por cada 100 producidas.
Chile	<ul style="list-style-type: none"> •Se reciclan el 50% de papeles y cartón
Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> •Se estima que el 40% del papel y cartón disponible es recuperado •En la ciudad de Loja se ha logrado la separación intradomiciliaria de residuos orgánicos, aplicando la técnica de lombricultura.
Uruguay	<ul style="list-style-type: none"> •Desde 1999 está en marcha un convenio oficial para la implementación de un programa de reciclaje de envases plásticos. A la fecha el programa a permitido retirar de los residuos sólidos más de 250 toneladas anuales de envases PET •Desde 1999 cuenta en Montevideo con una planta procesadora de residuos, la cual genera 15 toneladas diarias de fertilizante orgánico. •Varios municipios tienen programas de recolección selectivas de baterías ó pilas
Islas Caimán	<ul style="list-style-type: none"> •Venta de baterías de automóviles, aceites lubricantes de desechos, tarros de aluminio, papel, metales entre otros a otros países
Venezuela	<ul style="list-style-type: none"> •Se estima que entre el 10 y el 20% del total de residuos pudieran estarse reciclando. • El material que más se recicla es el aluminio (95%), seguido del hierro (90%), el vidrio (25%), el papel y cartón (20%), el plástico (2%) y materia orgánica (1%)
Barbados	<ul style="list-style-type: none"> •Alrededor de 152173 toneladas por año de materiales que incluyen plásticos, papel, metales ferrosos y no ferrosos, entre otros son reciclados
Trinidad y Tobago	<ul style="list-style-type: none"> •Se han formalizado algunas iniciativas de recuperación de vidrio, plásticos, papel y cartón

Fuente: Adaptado de la OPS (2005) y Universidad del Zulia: FEC (2010).

En la figura 6 puede observarse que Países como Estados Unidos, Verisk Maplecroft (2019) es gran productor mundial de desechos y uno de los peores en contaste con cualquier nación industrializada para gestionar su basura incluido en el sentido de una inexistencia de conciencia ecológica de los usuarios por la tasa excesiva de generación de residuos, con 773 kg por cabeza, el país genera el 12% de los RSU globales, aproximadamente 239 millones de toneladas, mientras que solo representan el 4% de la población mundial en dos nuevos índices de riesgo globales.

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Verisk Maplecroft en una investigación calcula que más de 2.100 millones de toneladas de residuos sólidos municipales (RSU) se generan a nivel mundial cada año, suficientes para llenar 822,000 piscinas olímpicas, que se extenderían 41,000 kms si se colocan fuera de punta a punta, sin embargo, solo el 16% (323 millones de toneladas) de esto se recicla cada año, mientras que el 46% (950 millones toneladas) se elimina de forma insostenible (Verisk Maplecroft, 2019, pág. 5).

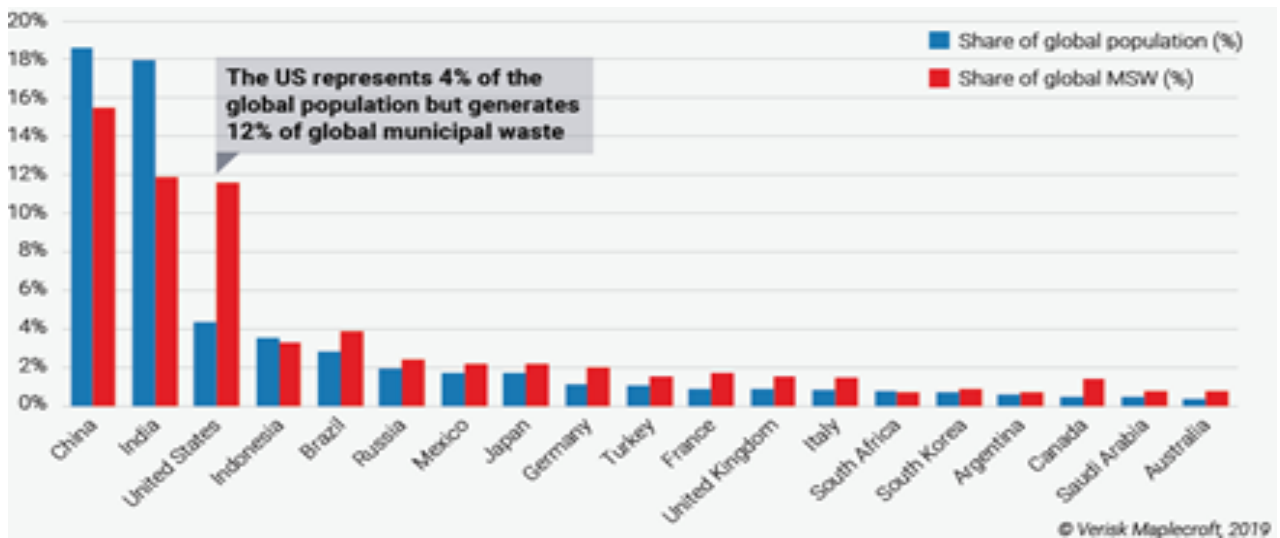


Figura 6. Proporción de la población mundial y los desechos sólidos municipales (RSU) para los países del G20. **Fuente:** (Verisk Maplecroft, 2019)

En cuanto a los países de China e India, representan más del 36% de la población mundial, pero generan el 27% de la producción global de residuos, caso contrario a Estados Unidos que produce un 12% de los desechos mundiales (cerca de 239 millones de toneladas) y el país tiene solo un 4% de la población global; es decir producen más del triple de desechos que sus homólogos chinos y 7 veces más que la gente de Etiopía, el país de menor riesgo en el índice. Los países de mayor riesgo en la generación de residuos según el índice son: Estados Unidos, los Países Bajos, Canadá, Austria, Suiza, Alemania, Francia y Australia. (Verisk Maplecroft, 2019).

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

En la Figura 7, se evidencia que las economías en desarrollo que no tienen los recursos para reciclar eficientemente, mientras que Estados Unidos se muestra como un rezagado en el escenario mundial desde los aspectos de falta de disposición adecuada de los residuos por parte de los usuarios o generadores, o por la inexistencia de conciencia ecológica o de ambas partes.

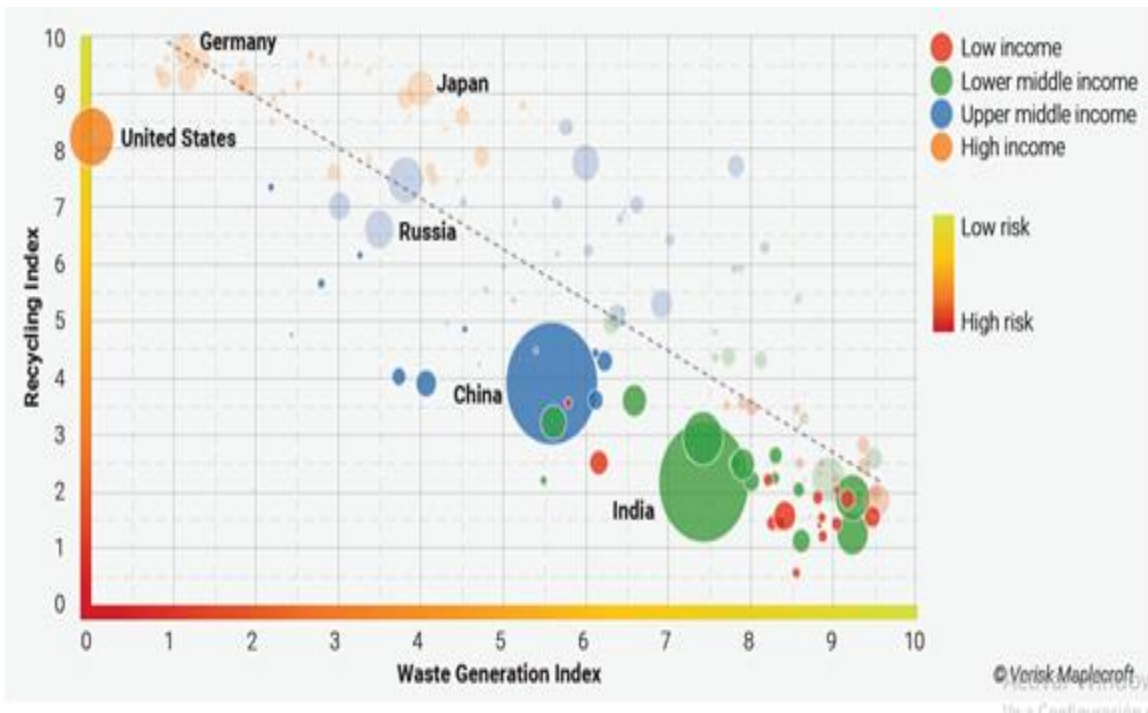


Figura 7. Desempeño del reciclaje.

Fuente: (Verisk Maplecroft, 2019)

Estados Unidos es la única nación desarrollada cuya generación de residuos supera su capacidad de reciclaje, lo que subraya una escasez de voluntad política e inversión en infraestructura. La aparente falta de determinación del país para lidiar con los desechos domésticos puede convertirse en un problema cada vez mayor frente a las prohibiciones de importación de plásticos de China y muchos países en desarrollo, donde los Estados Unidos actualmente exportan una gran proporción de sus desechos plásticos (Verisk Maplecroft, 2019, pág. 6).

En China, Tailandia, Vietnam y Malasia están prohibidas las importaciones de desechos sólidos incluida la gran cantidad de plásticos. Además, en mayo de 2019 a excepción de EE.UU, se acordó restringir los envíos de residuos plásticos difíciles de reciclar a los países en desarrollo. Estos cambios emergentes en la política harán que sea aún más difícil para países como Estados Unidos el bajo rendimiento en relación con el reciclaje.

Utilizando datos de su conjunto de índices de residuos, Verisk Maplecroft identifica a los Países Bajos, los Estados Unidos y el Reino Unido como los países más propensos a aprobar nuevas regulaciones sobre materiales plásticos que podrían afectar a las empresas en su flujo de capital. Pero, Francia, Canadá, Australia y Bélgica también están marcados como jurisdicciones para observar; para Niall Smith, analista ambiental de Verisk Maplecroft "Invertir en economía circular las medidas no solo pueden mitigar el riesgo, sino que también pueden abrir nuevos mercados y mejorar la reputación de la marca " (Verisk Maplecroft, 2019, pág. 6), lo que significa que al llevar el modelo de economía circular más allá del típico reducir, reutilizar, reparar (reciclar); se hace hincapié en la raíz del problema y se pueden ofrecer soluciones viables como el proceso WtE (termovalorización de residuos), incluido en los modelos de gestión de residuos, estableciendo un ciclo circular que evita el despilfarro de los recursos naturales para la consecución de bienes, servicios , productos y energía. La economía circular es una estrategia económica y productiva cuyo objetivo es el de reducir al máximo posible el uso de materias primas en el tejido productivo y minimizar la generación de desechos no reciclables.

2. Desarrollo Metodológico

La metodología de la investigación está enmarcada en tres ejes estructurales fundamentales como se muestra conceptualmente en la figura 8, cada uno de los componentes es detallado en los subcapítulos posteriores.

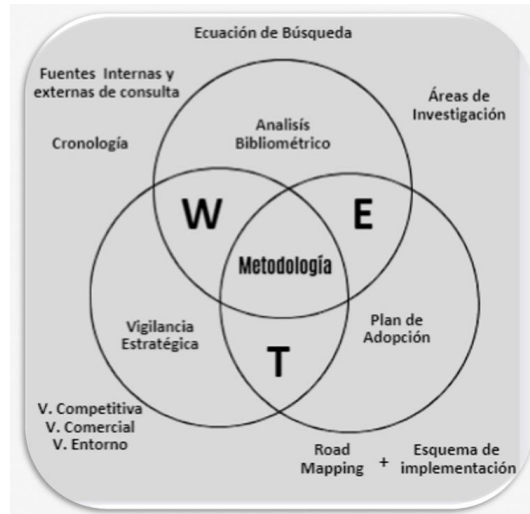


figura 8: Desarrollo Conceptual Metodológico

Fuente: Elaboración propia

La componente estructural de la investigación está enmarcada en una vigilancia estratégica, tiene como marco temporal correspondiente el periodo de Julio de 2019 a julio de 2020; La tecnología a la que se le realiza el seguimiento esta denominada como WtE: Waste to Energy , EfW: Energy from Waste = Energía Eléctrica a partir de RSU, usándose la base de datos Scopus entre los años 2015 a 2020 (Ver anexos A,B,C Y D); dicha base de datos se empleó debido a que contiene, aparte de artículos, más de 3.700 revistas indexadas de Gold Open Access, más de 210.000 libros y más de 8 millones de actas de congresos, más de 8 millones de documentos en open Access, también incluye “Articles in Press” de más de 5.500 títulos, y cubre 40 idiomas pero sobre todo la fidelidad de la información a analizar ya que Scopus es la mayor base de datos de citas y resúmenes de bibliografía revisada por

pares: revistas científicas, libros y actas de conferencias. Ofreciendo un exhaustivo resumen de los resultados de la investigación mundial en los campos de la ciencia y la tecnología.

En la estructura que compete a la parte bibliométrica y para ajustar la ecuación de búsqueda (Waste And Energy or Management or Technology and Energy) se delimitó un espacio de cinco años (2015-2020), se refinó a artículos, revistas, libros y capítulos de libros científicos, además simposios y conferencias relacionados con la ingeniería ambiental, química, mecánica y de materiales; para temas de idioma se incluyeron los nueve países con mayor producción literaria en el tema, al igual que para el tema del área de los documentos buscados se limitó a áreas como: administración de residuos sólidos, generación de energía con RSU, materiales para procesos de combustión, pirólisis, gasificación y termodinámica aplicada a gasificación de desechos, ver Anexos C y D. Para obtener la información necesaria se tuvo en cuenta el termino raíz (WtE), las áreas a analizar (Económica, ambiental, tecnológica y jurídica), las fuentes relevantes (Bases de datos y motores de búsqueda), el establecimiento de los descriptores, la terminología, las palabras clave y operadores de la búsqueda además de las ecuaciones de búsqueda para facilitar la consecución de la información perseguida.

El tercer eje consiste en la elaboración del Roadmap estratégico como elemento de gestión, se identificó y plasmó gráficamente el plan de adopción con su respectivo esquema de implementación y análisis, en este que orienta consecuentemente la estrategia y guía cronológicamente la toma de decisiones basados en los Insumos de La vigilancia Estratégica, ejercicio bibliométrico y la interacción de conceptos arrojados por la herramienta VOSviewer.

2.1. Vigilancia tecnológica

Con base al ejercicio de Vigilancia y al marco contextual de las tecnologías WtE, en el capítulo 1 se desarrollan las diferentes aplicaciones ingenieriles tentativas que permiten determinar los requerimientos para la implementación de plantas “Waste to Energy”; a su vez el capítulo 2 a partir del ejercicio de vigilancia con base en el análisis bibliométrico (Cap. 3) es el catalizador para dar cuerpo a esta investigación a través de la revisión documental para proporcionar un panorama de la temática en análisis (WtE) a partir de la exploración en Scopus, Web of Science (WoS) y paginas gubernamentales especializadas entre otras y el análisis respectivo de Recuperación o minería de datos, Migración de las ideas relevantes, Análisis bibliométrico Visualización de resultados de búsqueda e Interpretación de resultados.

En el capítulo 3 a través de del análisis exhaustivo del marco legal, contexto normativo en relación a manejo de residuos sólidos es el preámbulo regulatorio para valorar las condiciones actuales de la ciudad de Medellín para la implementación de plantas “Waste to Energy; por último, el capítulo 4 muestra en sus líneas de recomendaciones cómo estructurar los elementos de adopción y actividades específicas para consolidar una planta WtE en Medellín.

De acuerdo con la metodología para estudios de vigilancia tecnológica, se inicia con identificar los temas o tecnologías a vigilar que den respuesta a los requerimientos de los actores consultados. En este sentido el tipo de vigilancia está enfocado en una “vigilancia estratégica”, ya que “no existe un modelo global de vigilancia, sino que estos responden a las particularidades de cada país.” (Arana, 2008). Se dan a conocer las particularidades del entorno que afecta o impacta la temática WtE, en sus cuatro dimensiones de Vigilancia tecnológica e inteligencia comercial o “VT/IC”. Se aclaran los términos con que se conoce al procedimiento de vigilancia estratégica alberga cuatro ámbitos de información en sentido de Vigilancia Tecnológica, Vigilancia Competitiva, Vigilancia Comercial y Vigilancia

del Entorno se sintetizándose como Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, o "VT/IC". (AENOR UNE166006:2011).

2.1.1. Tipo de vigilancia tecnológica

Una vigilancia tecnológica es la herramienta para el proceso de construcción de capacidades, para analizar e interpretar información que se convertirá en conocimiento útil, esta nos permitirá identificar los vacíos estructurales, así como reconocer las oportunidades y los riesgos que pueden definir la realización de los intereses, fines y expectativas de los actores sociales y de los agentes económicos involucrados o no en la temática bajo investigación. (OVTT, 2020).

Se procede a desarrollar una vigilancia estratégica o "VT/IC". Con base en Vigilancia Tecnológica, Vigilancia Competitiva, Vigilancia Comercial y Vigilancia del Entorno se sintetizándose como Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva, o "VT/IC". (AENOR UNE166006:2011). Con Terminología como Administración de RSU, Pirolisis, Gasificación, Termodinámica y con el uso de palabras clave como Solid Urban Waste (RSU), Waste to Energy (WtE), Electricity, Energy, Steam, Combined Cycle, Environment se pretende desarrollar una consulta exhaustiva tal que permita priorizar datos relevantes e información estratégica relacionada al proceso de termovalorización de residuos sólidos de suma importancia en el ámbito energético, ambiental e ingenieril para con estos indicadores de actividad del concepto WtE analizar el dinamismo del campo técnico y la productividad de los diferentes investigadores en relación con sus publicaciones. Los cuáles serán abordados en el capítulo tercero con mayor detalle.

2.2. Ejercicio bibliométrico

En la investigación se revisaron documentos relacionadas con aspectos técnicos, sociales, normativos, políticos, económicos y ambientales, que tienen relación directa en el

desarrollo de actividades de termo valorización y gestión de RSU. En lo relacionado con las ecuaciones de búsqueda se sintetizó para expresar de la forma más exacta posible las necesidades de información.

Las palabras clave seleccionadas para efectuar el ejercicio bibliométrico de consulta se han obtenido de un estudio pormenorizado de título, resumen, palabras descriptoras y del texto completo de los artículos en las bases de datos indexadas, revistas especializadas, agencias gubernamentales y demás actores públicos y privados protagonistas tanto en gestión de la innovación tecnológica como propiamente del objeto de estudio del proceso Waste to energy íntimamente relacionado a la gestión y administración integral de desechos sólidos.

Tanto la formula general como la fórmula de componentes reúne las palabras claves y los operadores lógicos conexos entre ellas en los Anexos A y B amplia el panorama de restricciones, filtros y ajustes de búsqueda para fijar el espectro de búsqueda.

Se destaca el mapeo bibliométrico con la herramienta tipo software VOSviewer para analizar y visualizar la literatura científica, siendo este un aporte trasversal y secundario para complementar la investigación; este se realizó a partir del análisis de conglomerados, de citas y co-citaciones para analizar revisiones de artículos y autores enfocados en investigaciones, trabajos y patentes alrededor de la temática WtE.

2.2.1 Ecuación de búsqueda general

Para el presente trabajo se comenzó con una ecuación de búsqueda general como se detalla:

"waste to energy" AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Renewable And Sustainable Energy Reviews") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Energy") OR

LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Conversion And Management")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Municipal Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Incineration"))

2.2.2 Fuentes internas y externas de información

Para realizar la investigación fueron usadas herramientas de consulta en bases de datos indexadas para determinar el estado actual del flujo de información de la temática Waste to energy, para postular, analizar y prescribir las acciones (formales o informales) que tanto en la presente como en futuras investigaciones (o proyectos) propendan la temática WtE. Tomando como base las principales necesidades de información, se identifican las fuentes de información y recursos disponibles en el ITM, junto con aquellas que pueden ser accesibles, tales como:

- Documentación propia o relacionada con las líneas de investigación de Parque i.
- Personas con conocimientos o experiencias relacionadas con las necesidades de información.
- Contactos externos de potencial interés.
- Organizaciones como centros de investigación, universidades y centros de desarrollo tecnológico.
- Fuentes documentales a las que tiene acceso el ITM: en soporte físico (revistas, catálogos, etc.), en soporte electrónico (bases de datos, etc.), o recursos de información en Internet (portales temáticos, noticias, etc.).
- Documentación técnica como reglamentaciones, especificaciones, patentes o normas.
- Congresos, seminarios, ferias o exposiciones.

- Resultados de análisis existentes sobre las tendencias de futuro, como ejercicios de prospectiva, elaboración de escenarios, modelos econométricos, hojas de ruta, etc.
- La identificación de las fuentes de información externas debe estar basada en criterios de calidad, pertinencia, objetividad y fiabilidad de estas, como por ejemplo su origen "oficial", su frecuencia de actualización, la citación de autores, el grado de distribución por países de las publicaciones y de los autores de los artículos.

2.2.3 Cronología

El tiempo de desarrollo del ejercicio de vigilancia estuvo enmarcado entre julio del 2019 a julio de 2020, el filtro temporal para el análisis bibliométrico y de consulta de las investigaciones inicialmente fue el periodo de 2010 al 2020 para la primera depuración y 2015 a 2020 para el segundo análisis

2.2.4 Áreas del conocimiento que delimitan la búsqueda

Con lo expuesto por Carbonell Martínez, A. (2019) podemos decir que para delimitar la búsqueda se identifican las necesidades de información, esta gira en torno al termino WtE, concepto que alberga áreas de ingeniería eléctrica, mecánica, energía alternativas y Gestión integral residuos sólidos urbanos; Siendo al mismo tiempo el factor crítico de vigilancia y con esta obtener la información a partir de bases de datos indexadas y agencias gubernamentales.

Es importante tener presente que en nuestra cotidianidad la adopción de las nuevas ideas, tecnologías o prácticas está afectada por 6 elementos: 1) las características de los individuos que deben adoptar el cambio, 2) los atributos percibidos de la innovación, 3) la importancia de la decisión a tomar, 4) la influencia de los líderes de opinión, 5) el esfuerzo de la industria para apoyar las nuevas tecnologías, 6) los canales de comunicación. De aquí que la capacidad de innovar de una sociedad, persona o empresa se define como el grado en el

cual dicho elemento o individuo adopta más tempranamente las nuevas ideas por sobre los otros miembros de su comunidad laboral o científica (Rogers, 1995).

2.3. Road Mapping “Plan de Adopción”

A través de la herramienta Technology Roadmapping (TRM) se ha aplicado y desarrollado un esquema para el plan de adopción de tecnología el cual ha de servir de referencia o insumo en la estructuración de proyectos de políticas gubernamentales o para lograr una alineación efectiva de los objetivos estratégicos de una organización con tecnologías energéticas o en la proyección de un sistema integral de residuos sólidos municipales.

El Road Mapping abarca una línea del tiempo de 3 años (6 Etapas) que cruza tres fases operacionales para un proyecto en términos de estudio de factibilidad; Diseño y construcción; y momento de operación. Cada uno de los semestres que dura la ejecución del proyecto requiere de unos insumos y unas prácticas las cuales son la evaluación del proyecto en términos técnicos, económicos, ambientales, Social, jurídico-legal. Y destina un espacio para la solicitud de permisos y la evaluación de los diseños de la planta de aprovechamiento energético como también para la delimitación espacial y construcción de esta con sus respectivas pruebas.

Con esta herramienta (TRM) se diseñó a partir del análisis externo de la tecnología WtE, empleando el mapeo tecnológico (de patentes y tecnologías), el análisis interno (gestión de RSU en Medellín y Colombia), permitiendo generar una “hoja de ruta” para su acción estratégica aplicable en municipio del valle de aburra. En consonancia con la metodología de TRM se destinan elementos para programar esquemáticamente la operatividad del proyecto, la toma de datos de evaluación ambiental, de desempeño técnico, de desempeño humano y técnico-financiera. En la etapa final se proyectan los escenarios de modificaciones a la planta, implementaciones nuevas y puesta en marcha como ítem final en el Technology Roadmapping.

3 Resultados

En este apartado se muestran los resultados de un proceso de investigación en relación la temática Waste to energy desde la perspectiva Legal, ambiental, de ingeniería (componente técnica) y de energía como campo de investigación y que va íntimamente ligado a la gestión integral de residuos sólidos sea esta publica o de carácter privado. Es de aclarar que los nichos de mercado de residuos sólidos se encuentran en diversas etapas de desarrollo en todo el mundo, para algunos casos en países con elevado nivel de ingresos, normas rigurosas y estímulos a empresas de carácter privado la tecnología WtE es un caso de éxito masivamente adoptado, investigado con excelentes prácticas de separación en la fuente (ver figura 9), excelente apropiación por parte de la industria y aprovechamiento energético como caso de éxito.

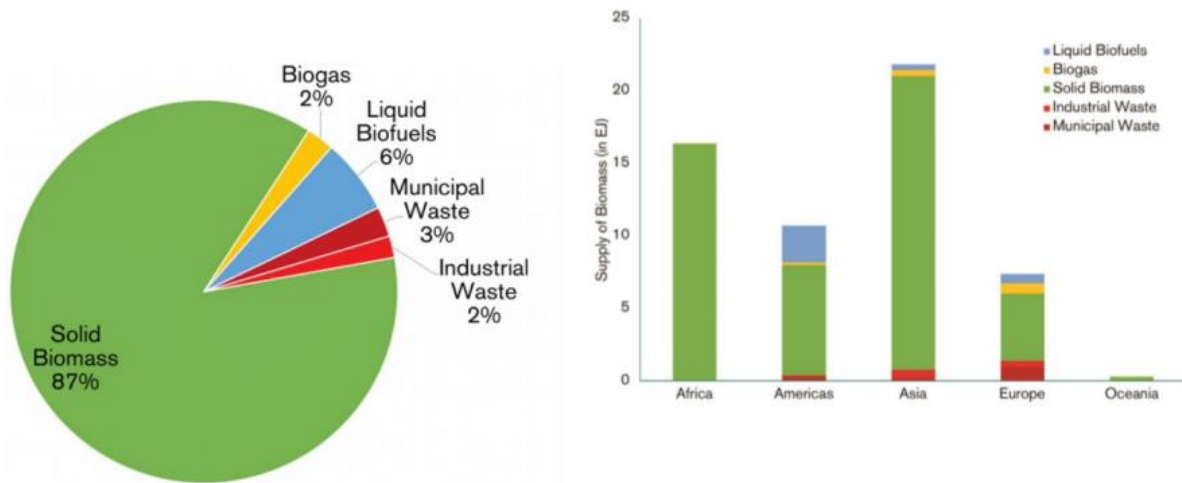


Figura 9. Suministro mundial total de energía primaria a partir de biomasa en 2018

Fuente: World Bioenergy Association, 2018

Estados unidos de América y en general los países más desarrollados exponen una aceptación cultural, divulgación científica y apropiación tecnológica del concepto WtE, en parte debido a las diferencias en las normas y prácticas de gestión de residuos, y las

diferencias en la adopción y eficacia de los sistemas generales de gestión de residuos adaptadas a cada región y sus características individuales tanto de producción de residuos como de enfoques de adaptación de esta.

Para el caso de Suramérica es de aclarar que no hay plantas de aprovechamiento masivo, salvo prototipos a escala media como el caso de la ciudad de Paraná, Brasil donde utilizando tecnología de biodigestor, se producirá energía eléctrica a partir de desechos orgánicos (biomasa) y lodos de depuración. A partir de esta entrada, producirá biogás que, a su vez, se convertirá en energía eléctrica. El proyecto tiene como objetivo reutilizar 1,000 metros cúbicos de lodo de aguas residuales y 300 toneladas de desechos orgánicos diariamente, un volumen que se eliminaría en el medio ambiente (Bluevision, s.f). Sin embargo, con la maduración de las tecnologías WtE para la conversión de desechos en energía se pueden utilizar completamente todos los materiales a través de procesos avanzados de conversión de desechos en energía, el valor de mercado de estos desechos podría aumentar y masificar en Latinoamérica.

Una de las principales observaciones en esta vigilancia estriba al diverso modo de desarrollos tecnológicos para un mismo concepto, pero en todo el mundo, las tecnologías WTE se desarrollan y adoptan en diferentes grados entre países en función de diferentes prioridades en la gestión de residuos y prácticas de eliminación. La Figura 12 expone las variaciones en las prácticas de gestión de residuos sólidos y su eliminación final en todo el mundo. Este comparativo se hizo para los países con los diez productos internos brutos (PIB) más alto utilizando datos del Banco Mundial (World Bank,2018) Existe una variación significativa entre países en la forma en que se gestionan y eliminan los RSU. Los países de América del Norte y del Sur y Asia (con la excepción de Japón) eliminan el 50% o más de los RSU en los vertederos, mientras que las naciones europeas utilizan los vertederos significativamente menos e incineran y reciclan más desechos siendo estos catalogados como un recurso energético de uso extensivo.

Para una industria que está constantemente en desarrollo como evidencia las investigaciones y agentes involucrados en ellas (Figuras 11, 13, 14 y 15) la conversión de residuos en energía, podría beneficiarse de una sinergia de programas reguladores y mercados en desarrollo que contribuyan a la forma en que se gestionan los residuos (figuras 19 y 20) y a la vez se generan ganancias de índole ambiental y económico al comercializar la energía eléctrica e impactar positivamente la naturaleza al disminuir el uso de vertederos a cielo abierto y disminuir simultáneamente en un 90% los productos finales del proceso sin impactar ni aire, aguas o tierras.

3.1 Nivel de adopción de la tecnología Waste to Energy a nivel mundial

Los procesos de Termólisis, gasificación y pirólisis se conocen y utilizan desde hace siglos en el mundo, pero el uso generalizado de estas tecnologías en procesos Waste to Energy y su desarrollo para el procesamiento de residuos sólidos urbanos solo se ha convertido en centro de atención en los años recientes estimulado por la búsqueda y el manejo eficiente de energía a través de procesos, tecnologías innovadoras y métodos ambientalmente sostenibles (Panda, Singh, & Mishra, 2010).

Históricamente la primer planta WtE fue construida en Nottingham Reino Unido en 1874 por Manlove, Alliott & Co. Ltd. para el diseño de Alfred Fryer. Como lo menciona Lewis (2007) en el mismo sentido el primer incinerador de residuos de los Estados Unidos se construyó en 1885 en Governors Island en Nueva York, Nueva York; de igual modo en Dinamarca en 1903 en Frederiksberg , y la primera instalación en la República Checa se construyó en 1905 (Lapčík & Lapčíková, 2012).

Podemos ver como en EE. UU. la mayoría de las plantas WtE operativas de hoy en día fueron construidas en el período de 1980 a 1995 si bien en el resto del mundo, ha habido más de

200 nuevas plantas WtE construidas desde 1996 y algunas están actualmente en construcción en total, hay más de 700 plantas WtE en el mundo ubicados en 37 países, entre ellos en las Bermudas, Singapur y China. Toma relevancia que hoy en día nuevas plantas Waste to Energy - WtE- están en construcción en el Reino Unido, Azerbaiyán y otras naciones del continente asiático que cada una de ellas está integrada a un plan integral de gestión de residuos con finalidad de generación de energía renovable. En la actualidad a nivel mundial podemos observar una tendencia global en los temas relacionados con la protección medio ambiental, producción limpia, Reciclaje y optimización de recursos energéticos. La unión europea promueve leyes de protección medioambiental y fomento de plantas WtE; alrededor de 400 de ellas distribuidas en 22 países europeos (Hollis Miet, 2014).

Países con alto grado de desarrollo tecnológico integran en sus procesos de gestión de residuos sólidos complejos industriales de plantas WtE sincronizados con su arquitectura local, siendo esta estrategia el medio para la valoración de los desechos y su conversión para obtención de energía en dichas centrales o plantas de producción de electricidad (WtE). Su potencial se incrementa en toda Europa, tanto en términos de número de plantas como en capacidad y se promueve mediante directivas legislativas. (Official Journal of the European Union, 2008). WtE más que un proceso termodinámico de ciclo combinado combustible-vapor- electricidad, es una mega tendencia mundial no solo para la disposición final de desechos sólidos en las grandes urbes del mundo sino una herramienta que ha articulado soluciones a la problemática de demanda energética, crisis ambiental en términos de disminución de emisiones y de volumen de residuos con la implementación de tecnologías innovadoras de la mano de políticas medio-ambientales estrictas, generando un impacto positivo directo en cada uno de los ámbitos previamente mencionados con el plus de ganancias económicas por comercialización de electricidad en las redes domésticas.

Las tecnologías para la obtención de energía a partir de residuos sólidos o desechos se implementan principalmente en cuatro regiones del mundo: 1. Europa, principalmente Alemania, países escandinavos (Noruega, Suecia, Dinamarca), Francia, Países Bajos, Italia, Reino Unido (alrededor de 500 instalaciones); 2. Estados Unidos (alrededor de 88 instalaciones); 3. Japón (más de 1.000 instalaciones); 4. China y Corea del Sur (alrededor de 120 instalaciones, creciendo rápidamente) (Carabin & Holcroft, 2005).

El anterior panorama global evidencia una tendencia de implementación, ejecución y desarrollo que expone el carácter adaptativo de los proyectos WtE, a nivel mundial desde las ópticas sociales, ambientales y de innovación tecnológica tanto para la gerencia y administración alrededor de RSU como también a nivel sostenible para la generación de electricidad.

Las tasas de consumo energético y crecimiento poblacional (K Yu; P Son, 2023) asociado a la generación de desechos y consumo de recursos naturales y la propensión a utilizar nuevas e innovadoras tecnologías para la producción energética evidencian que las plantas WtE son más que una tendencia global, son la respuesta y solución tanto a la disposición final de RSU como la alternativa para también en los índices de gestión eficiente administrativa o ingenierilmente.

Esta difusión y apropiación de la tecnología WtE para termovaloración de residuos, generar electricidad y energía en forma de vapor ha demostrado ser el modo más eficiente para no solo mitigar los impactos de la generación de basuras sino también capitalizar y monetizar los residuos como un nuevo paradigma de innovación tecnológica; los RSU, como recurso renovable en la generación de energía limpia (Šomplák, Ucekaj, Pavlas, & Popela, 2012).

Las crecientes necesidades energéticas, la reducción de los combustibles fósiles, el impacto de estos sobre el ambiente sumado al incremento del volumen de residuos sólidos permitirá desarrollar e implementar tecnologías tipo Waste to Energy como alternativa no solo

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

vanguardista, sino innovadora para evitar el uso de rellenos sanitarios, producir energía limpia a partir de nuevos recursos combustibles alternativos como los desechos (residuos sólidos urbanos), generando nuevas fuentes de empleo con mano de obra calificada y aportar al sistema interconectado de energía sin la necesidad de deteriorar los ecosistemas mejorando sustancialmente la calidad de vida de los ciudadanos circundantes a la locación de este tipo de proyectos.

La figura 10 expone la masificación y la implementación tecnológica de la termodestrucción controlada de residuos y su implementación para generar energía. Esta muestra como a nivel mundial está distribuida la apropiación tecnológica de plantas WtE que se integran al plan de gestión de residuos sólidos de sus zonas de impacto.

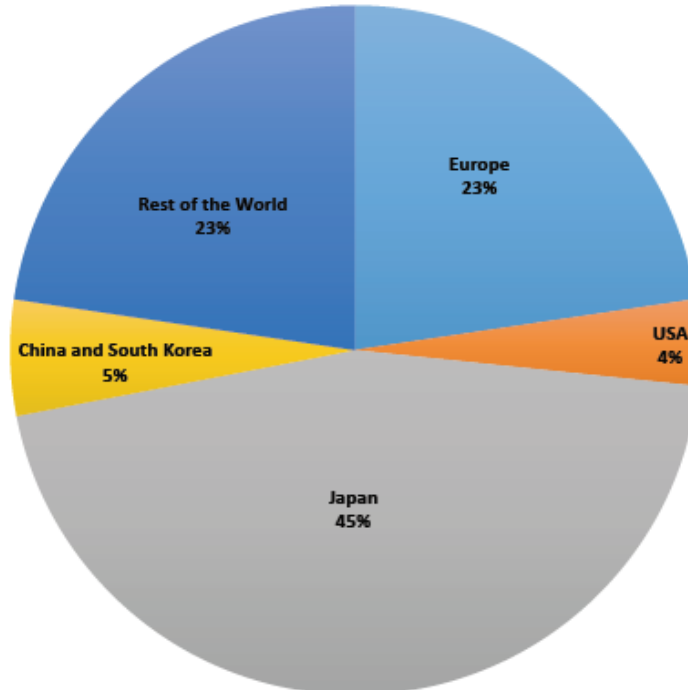


Figura 10. Plantas WtE en el mundo. **Fuente:** ISIWA, 2013

La Tabla 6 aborda la capacidad instalada en los países europeos, muestra la producción de residuos per-cápita, las toneladas anuales por país además de la capacidad de producción energética con dichos residuos (Psomopoulos, Bourka, & Themelis, 2009).

Europa: los países pioneros en la aplicación de tecnología WtE para fines de obtención de calor y energía eléctrica mediante la gestión eficiente de residuos sólidos a la energía con métodos de tratamiento térmico son Suiza, Suecia, Países Bajos, Dinamarca, Alemania, Francia, Bélgica, Austria y Noruega (Machrafi, 2012).

Tabla 6. Capacidad instalada y plantas WtE en Europa

País	Tonnes/year (in 1999)	Kilograms/capita	Thermal energy (GigaJoules)	Electric energy (GigaJoules)
Austria	450,000	56	3,053,000	131,000
Denmark	2,562,000	477	10,543,000	3,472,000
France	10,984,000	180	32,303,000	2,164,000
Germany	12,853,000	157	27,190,000	12,042,000
Hungary	352,000	6	2,000	399,000
Italy	2,169,000	137	3,354,000	2,338,000
Netherlands	4,818,000	482		9,130,000
Norway	220,000	49	1,409,000	27,000
Portugal	322,000	32	1,000	558,000
Spain	1,039,000	26		1,934,000
Sweden	2,005,000	225	22,996,000	4,360,000
Switzerland	1,636,000	164	8,698,000	2,311,000
UK	1,074,000	18	1,000	1,895,000
Total reported	40,484,000	154.5 (average)	109,550,000	40,761,000

Fuente: International Solid Wastes Association, Energy from Waste, State-of-the Art Report, www.WtE.org.

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- Estados Unidos: tiene alrededor de 88 plantas WtE con las cuales combaten alrededor de 26,3 millones de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos –RSU– y sirven a una población de 30 millones de personas, con un promedio de generación de 2700 MW de electricidad. Las plantas aprovechan la capacidad térmica de la basura para producir energía, dichas plantas se encuentran funcionando en 25 estados como se describe en la Tabla 7 (Psomopoulos, Bourka, & Themelis, 2009).

Tabla 7. Estados que implementan plantas WtE en US

Estado	Número de plantas	Capacidad (tons/día)
Connecticut	6	6,500
New York	10	11,100
New Jersey	5	6,200
Pennsylvania	6	8,400
Virginia	6	8,300
Florida	13	19,300
Total	53	69,600

Fuente: Kiser, Jonathan V.L. and Maria Zannes, The 2002 IWSA Directory of Waste-to-Energy Plants, Integrated Waste Service Association, Washington DC (2002). Martin GmbH, www.martingmbh.de.

- China: este país tiene la mayor capacidad instalada de WtE a nivel mundial (7,3 GW), con 339 plantas (Ver tabla 8) en operación a fines de 2017. Las plantas WtE o EfW han crecido en promedio 1 GW por año en los últimos cinco años, y ahora representa la mayor forma de capacidad bioenergética, con capacidad para gestionar poco más de 100 Mtons de residuos sólidos por año (casi el 40% de la producción nacional). La capacidad en China ascendió a una tasa de crecimiento promedio anual del 26% en los últimos cinco años, en comparación con el 4% en los países de la OCDE durante 2010-2016. En consecuencia, la capacidad de EfW en China es ahora equivalente al 40% de la instalada en todos los países de la OCDE combinados. Sin embargo, se ha expandido más lentamente en otros cinco países asiáticos, a una tasa promedio del 16% anual (ICEX, 2019).

Tabla 8. Capacidad planta WTE instalada en China 2003 al 2013

Year	Landfill			Composting			Incineration		
	Number of Plants	Treatment Capacity (million tons/year)	Ratio * (%)	Number of Plants	Treatment Capacity (million tons/year)	Ratio * (%)	Number of Plants	Treatment Capacity (million tons/year)	Ratio * (%)
2003	457	64.04	85.49	70	7.17	9.57	47	3.70	4.94
2004	444	68.89	85.39	61	7.30	5.57	54	4.49	9.05
2005	356	68.57	85.79	46	3.45	4.32	67	7.91	9.90
2006	324	64.08	81.80	20	2.88	3.68	69	11.38	14.53
2007	366	76.33	81.92	17	2.50	2.68	66	14.35	15.40
2008	407	84.24	82.85	14	1.74	1.71	74	15.70	15.44
2009	447	88.99	80.17	16	1.79	1.61	93	20.22	18.22
2010	498	95.98	79.35	11	1.81	1.50	104	23.17	19.16
2011	547	100.64	76.88	-	-	3.26 **	109	25.99	19.85
2012	540	105.13	72.55	-	-	2.71 **	138	35.84	24.73
2013	580	104.93	68.16	-	-	1.74 **	166	46.34	30.10

* Ratio = capacity of a specific waste treatment type/capacity of all waste treatment types. ** Since 2012, the term “other treatment” has been used in the China Statistical Yearbook [24] instead of the term “composting treatment”.

Fuente: National Bureau of Statistics of China

- India: según el Ministerio de Energía Nueva y Renovables (MNRE) de la República Independiente de la India, existe un potencial de aproximadamente 1700 MW en sus residuos sólidos urbanos (1500 de MSW y 225 MW en aguas residuales de vertederos) y

aproximadamente 1300 MW de residuos o desechos de tipo industrial. Este organismo también está promoviendo y estimulando activamente la generación de energía a partir de residuos, proporcionando subsidios e incentivos para los proyectos. Las estimaciones de la Agencia de Desarrollo de Energía Renovable de la India (IREDA) indican que la India hasta el momento solo ha alcanzado aproximadamente el 2% de su potencial de conversión de residuos en energía (EAI, s.f)

En la actualidad india, con más de 1.240 millones de habitantes genera 127.488 t/día de residuos sólidos municipales los cuales ha administrado la implementación y adopción de tecnología WtE a su sistema de gestión de residuos sólidos ejecutando los siguientes proyectos según (U.S. Department of Energy, 2019).

- Planta WtE para disponer 1350 TPD (toneladas por día) y una capacidad de generación eléctrica de 16 MW desarrollado el proyecto por OP Jindal Group at Okhla, New Delhi en 2012.
- Planta WtE para disponer de 600 TPD (toneladas por día) y una capacidad de generación eléctrica de 11.5 MW desarrollado el proyecto por Hitachi Zosen at Jabalpur, Madhya Pradesh en 2016.
- Planta WtE para disponer de 1200 TPD (toneladas por día) y una capacidad de generación eléctrica de 12 MW desarrollado el proyecto por IL&FS, at Gazhipur, New Delhi en 2016.
- Planta WtE para disponer de 1200 TPD (toneladas por día) y una capacidad de generación eléctrica de 23 MW desarrollado el proyecto por IL&FS, at Gazhipur, New Delhi en 2017.

3.2 Tablas y figuras objeto de análisis dentro de la vigilancia

Se obtuvieron las gráficas relativas al proceso tanto bibliométrico como de vigilancia que se desarrollan en este capítulo 3.

Para las figuras y tablas analizadas en este aparte El tiempo de desarrollo aplicado al ejercicio investigativo estuvo enmarcado entre julio del 2019 a julio de 2020, el filtro temporal para el análisis bibliométrico y de consulta de las investigaciones inicialmente fue el periodo de 2010 al 2020 para la primera depuración y 2015 a 2020 para el segundo análisis , para ambos espacios temporales se hacen las respectivas observaciones en consonancia con las métricas arrojadas por las herramientas de búsqueda bibliográficas.

A partir de la ecuación de búsqueda :

```
"waste to energy" AND ( LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Waste Management" ) OR  
LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Energy" ) OR LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Renewable  
And Sustainable Energy Reviews" ) OR LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Applied  
Energy" ) OR LIMIT-TO ( EXACTSRCTITLE , "Energy Conversion And Management" )  
 ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Municipal Solid Waste" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD ,  
"Waste Management" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD ,  
"Waste Incineration" ) )
```

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

En la figura 11, Se exponen las Citas de fuentes por año más relevantes en consonancia al interés de la investigación; Las fuentes analizadas como revistas ambientales de producción limpia, revistas de ciencias ambientales, de biotecnologías de Energía y de producción de suministro eléctrico exponen un incremento exponencial para el periodo de análisis entre 1996 a 2020, dicha rampa de ascenso manifiesta el interés año por año en la importancia de nuevos métodos de producción energética con nuevas tecnologías en consonancia con la protección del ambiente.

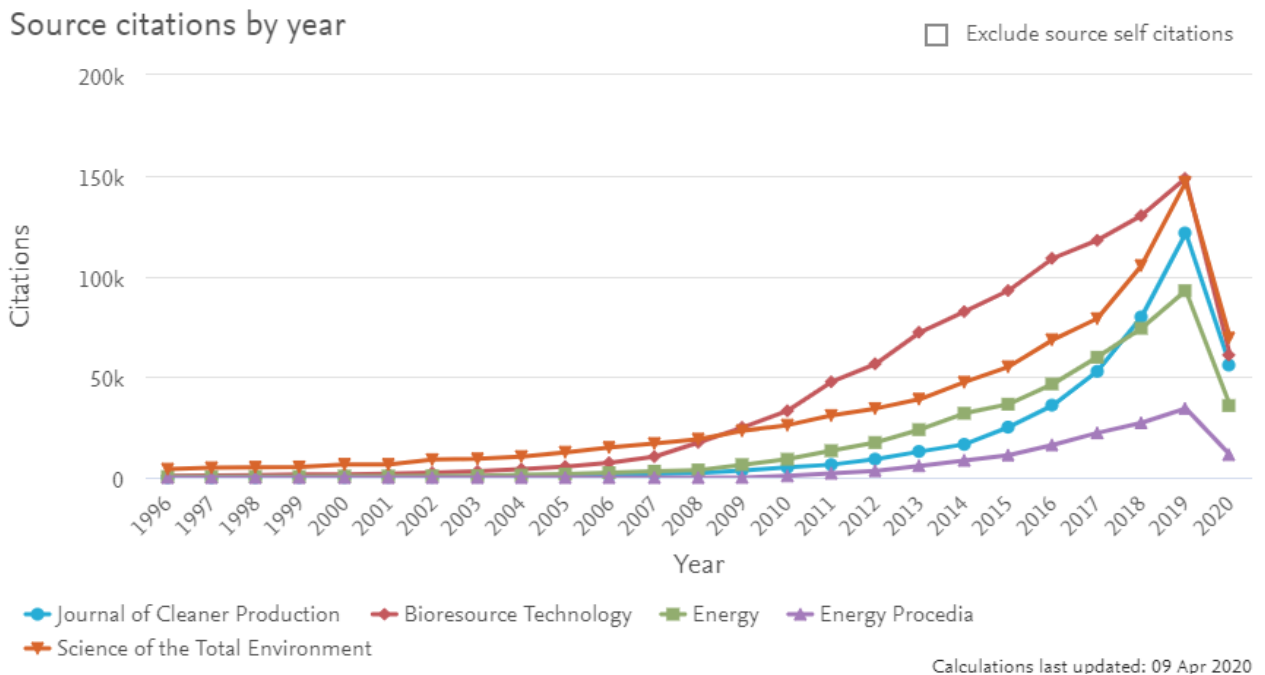


Figura 11. Citas de fuentes por año. **Fuente:** Scopus

3.2.1 Tendencia temática e Índices de impacto de las publicaciones relacionadas con Temática WtE

En la figura 12, puede observarse la evolución positiva en términos del tiempo y la especificidad de las líneas de investigación; podemos ver el interés de los investigadores por temáticas alrededor del concepto de metodologías de producción limpia de energía. El nivel de interés por fuentes alternativas de producción de energía es incremental en los diferentes espacios de investigación. Tanto las publicaciones de revistas científicas como el sector privado de producción energética manifiestan interés por la temática WtE en estudio. La relevancia de la producción energética es objeto de interés por los diferentes sectores de la sociedad y en la línea del tiempo se expresa no solo con el ángulo positivo de la gráfica sino por el índice de ascenso en la rampa.

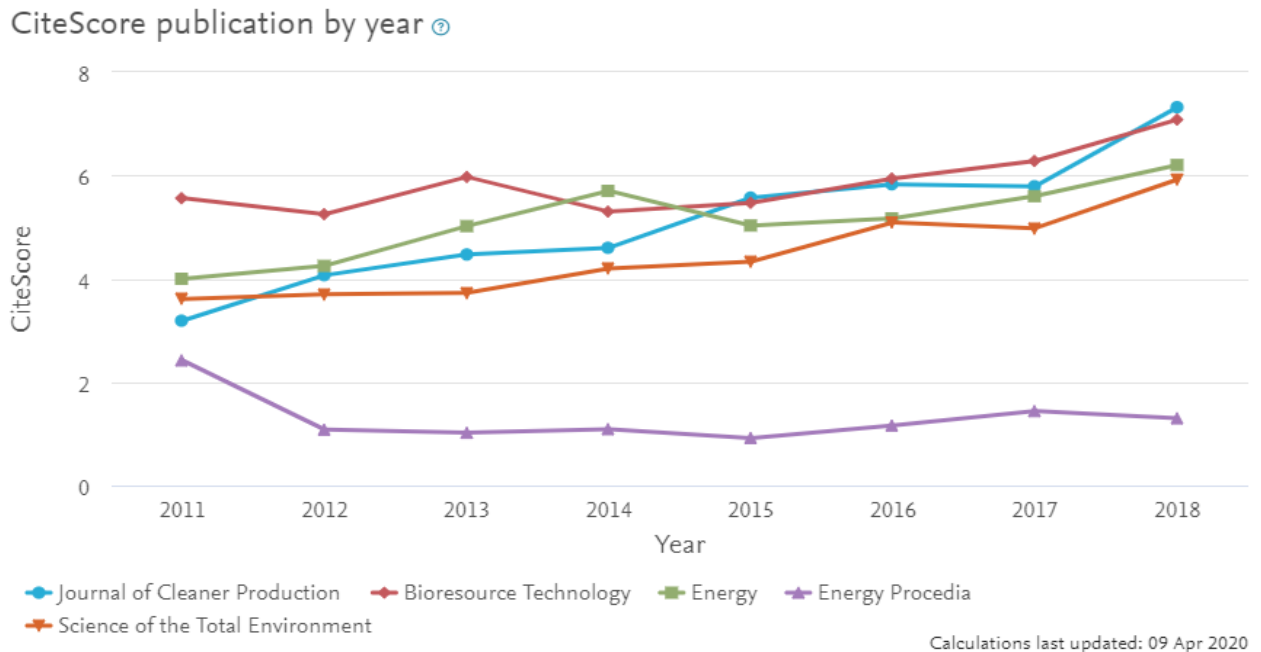


Figura 12. tendencia temática de los Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación general.

Fuente: Scopus

3.2.2 Índices de impacto de las publicaciones

La tabla 9 expone el periodo 2011-2018 se evidencia el ascenso positivo del índice de impacto de publicaciones, las temáticas ambientales, ingenieriles, de residuos y WtE propiamente dicho marcan un incremento y ascenso; este factor de medición basado en la comparación de publicaciones dentro los campos temáticos específicos de Energía, Ciencias ambientales, expone positivamente la frecuencia con la que los autores y/o autoras citan otros documentos relacionados con la termovalorización de residuos, la gestión integral de estos y su aplicación en áreas tanto administrativas como de ingeniería en contraste con los procesos WtE.

CiteScore publication by year [Ⓢ]

Source [↑]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Journal of Cleaner Production	3.19	4.07	4.47	4.6	5.57	5.83	5.79	7.32
Bioresource Technology	5.56	5.25	5.97	5.3	5.47	5.94	6.28	7.08
Energy	4	4.25	5.02	5.7	5.03	5.17	5.6	6.2
Energy Procedia	2.42	1.08	1.02	1.09	0.92	1.16	1.44	1.3
Science of the Total Environment	3.61	3.7	3.73	4.2	4.33	5.09	4.98	5.92

Tabla 9. Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación general

Fuente: Scopus

3.3 Información de Occidente

La delimitación de Occidente envuelve geográfica, económica y culturalmente a Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Europea; aunque a primera vista pudo observarse la evolución positiva en términos del tiempo y la especificidad de las líneas de investigación, cuando se delimita la búsqueda a los países que la componen por su desarrollo tecnológico y capacidad económica.

Las gráficas que expone este subcapítulo demuestran el interés de los investigadores, empresarios y gobiernos de los países de América del norte y Europa y cercanos por temáticas alrededor del concepto WtE y de metodologías de producción limpia de energía a partir de RSU.

La Figura 13 muestra la tendencia de los Índices de impacto de las publicaciones:

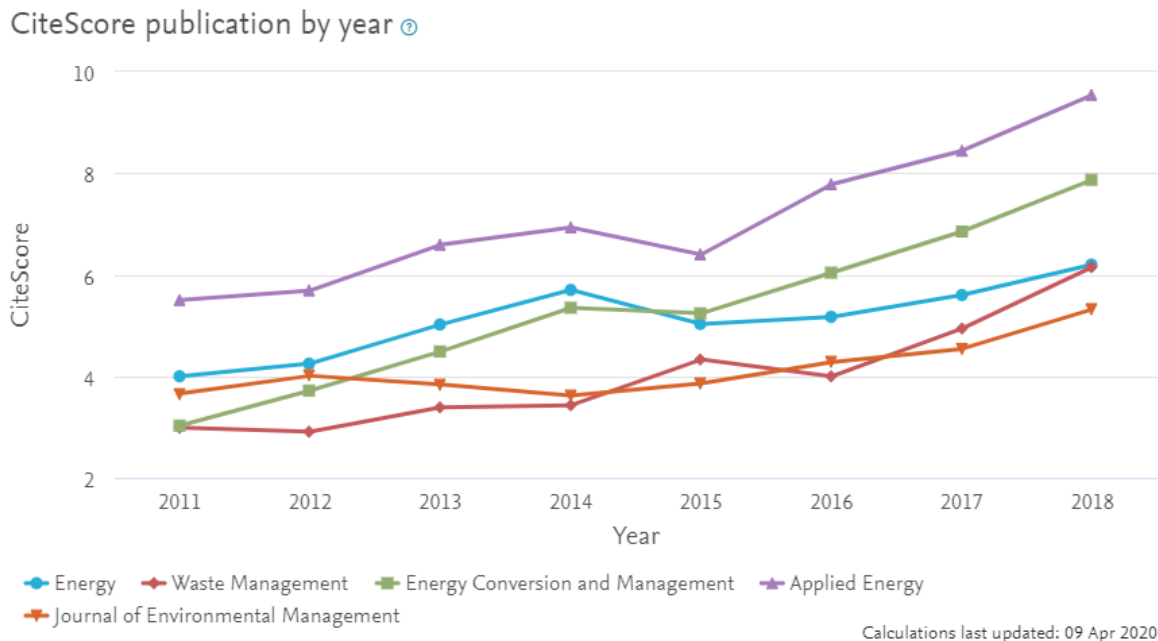


Figura 13. Tendencia de los Índices de impacto de las publicaciones, figura basada en la ecuación depurada.

Fuente: Scopus

El nivel y tendencia fuerte en interés de los países occidentales por fuentes alternativas de producción de energía es incremental en los diferentes espacios de investigación tanto de los sectores públicos como privados de investigación y desarrollo aplicado. Las publicaciones de revistas científicas de los diferentes entes relacionados en una filiación u otra con la producción energética manifiestan interés por la temática WtE en estudio.

La relevancia de la producción energética es objeto de profundización académica en los diferentes sectores de la sociedad a nivel político, Ingenieril y administrativo y con la línea del tiempo lo expresa en la gráfica por el de ascenso incremental en el índice de impacto de las publicaciones expresado en la tabla 10.

Tabla 10. Índices de impacto de las publicaciones basada en la ecuación depurada.

CiteScore publication by year

Source ↑	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Energy	4	4.25	5.02	5.7	5.03	5.17	5.6	6.2
Waste Management	2.99	2.91	3.39	3.43	4.33	4	4.94	6.15
Energy Conversion and Management	3.03	3.72	4.49	5.35	5.24	6.04	6.85	7.87
Applied Energy	5.5	5.69	6.59	6.93	6.4	7.78	8.44	9.54
Journal of Environmental Management	3.66	4.01	3.84	3.62	3.86	4.28	4.54	5.32

Fuente: Scopus

Un contraste interesante que sirve como catalizador o precursor de la motivación en las investigaciones, publicaciones, patentes y trabajos de académicos en la temática WtE tiene que ver con el estado mundial de eliminación de RSU en los diez países con mayor PIB como evidencia la figura 14.

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

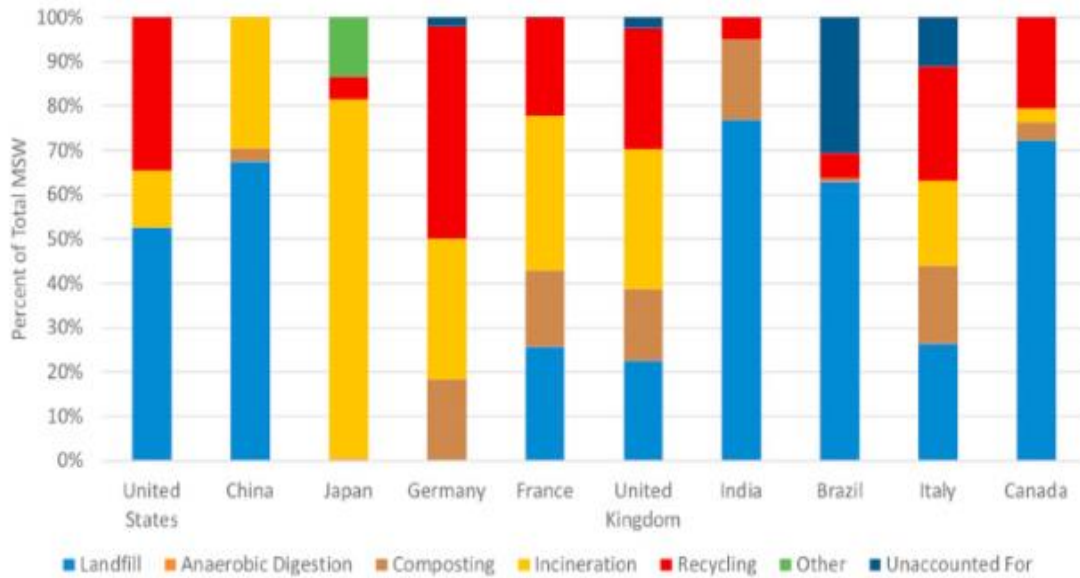


Figura 14. Estado mundial de eliminación de RSU en los diez países con mayor PIB.

Fuente: (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018)

Esta figura muestra la correlación entre los diferentes factores Ingenieriles, políticas de gobierno, gestión de residuos, generación de electricidad, gestión ambiental, etc. donde los sistemas políticos están directamente relacionados con los proyectos ambientales, la apropiación tecnológica del proceso Waste to energy y el nivel de desarrollo de la tecnología en cada país.

Evidentemente hay un interés con la producción de energía y la termovalorización de residuos está íntimamente relacionada no solo con la demanda del recurso energético Vs incremento de la población, sino además porque hábitos de consumo y generación de residuos está ligada al manejo que se le da a los RSU, donde exceptuando a Japón hay una reiterativa dependencia del proceso de relleno sanitario para la disposición de estos.

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

La tecnología Waste to energy muestra un escenario positivo para Latinoamérica (Medellín-Colombia en ella) no solo para la adopción de la tecnología en análisis sino como fuente de desarrollo desde los aspectos económicos, políticos y ambientales.

Para el caso asiático que propendió centrales a media y pequeña escala marco un éxito y a la par masifico el número total de plantas en el territorio además de ser centro de interés académico por el sector privado quien a su vez expone un elevado número de patentes, investigaciones y políticas íntimamente ligadas al proceso de termovalorización, reciclaje y producción de electricidad con fuentes energéticas no convencionales.

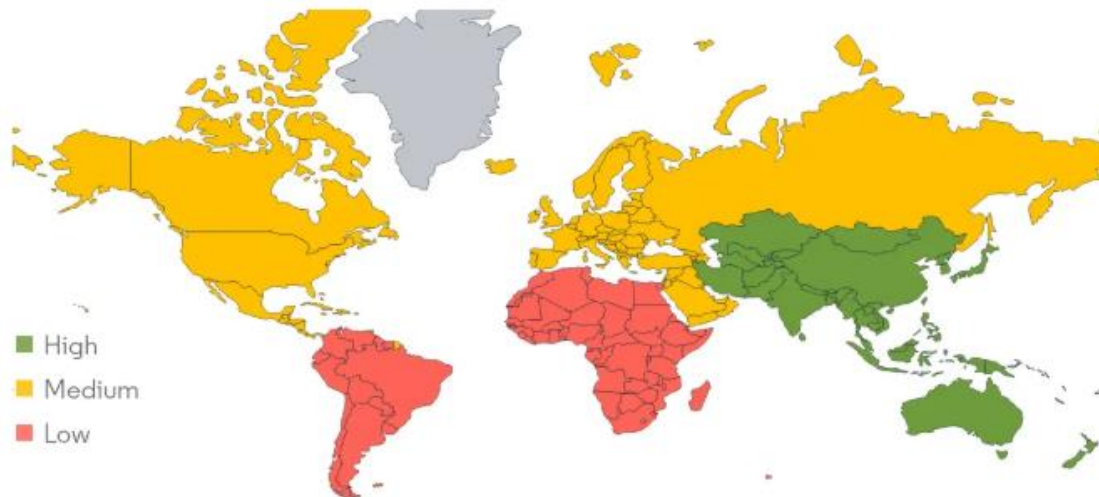


Figura 15. Apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología Waste to energy.

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

La alta apropiación tecnológica de los países asiáticos en contraste con el nivel medio de los países occidentales tiene como foco dos perspectivas de aplicación y desarrollo tecnológico, mientras Norteamérica y Europa masifico proyectos a gran escala, (figura 15).

Los procesos de termodestrucción, termovalorización, WtE o EfW integrados al Sistema de gestión de residuos sólidos, se catalizan como una herramienta transversal la que, como se evidencia en la figura 16, tienen un alto índice de dominio del procesos de gestión integral y termovalorización para fines energéticos como de generación de vapor, frío o energía eléctrica, pero sobre todo esta apropiación tecnológica y Mercado Mundial de la tecnología

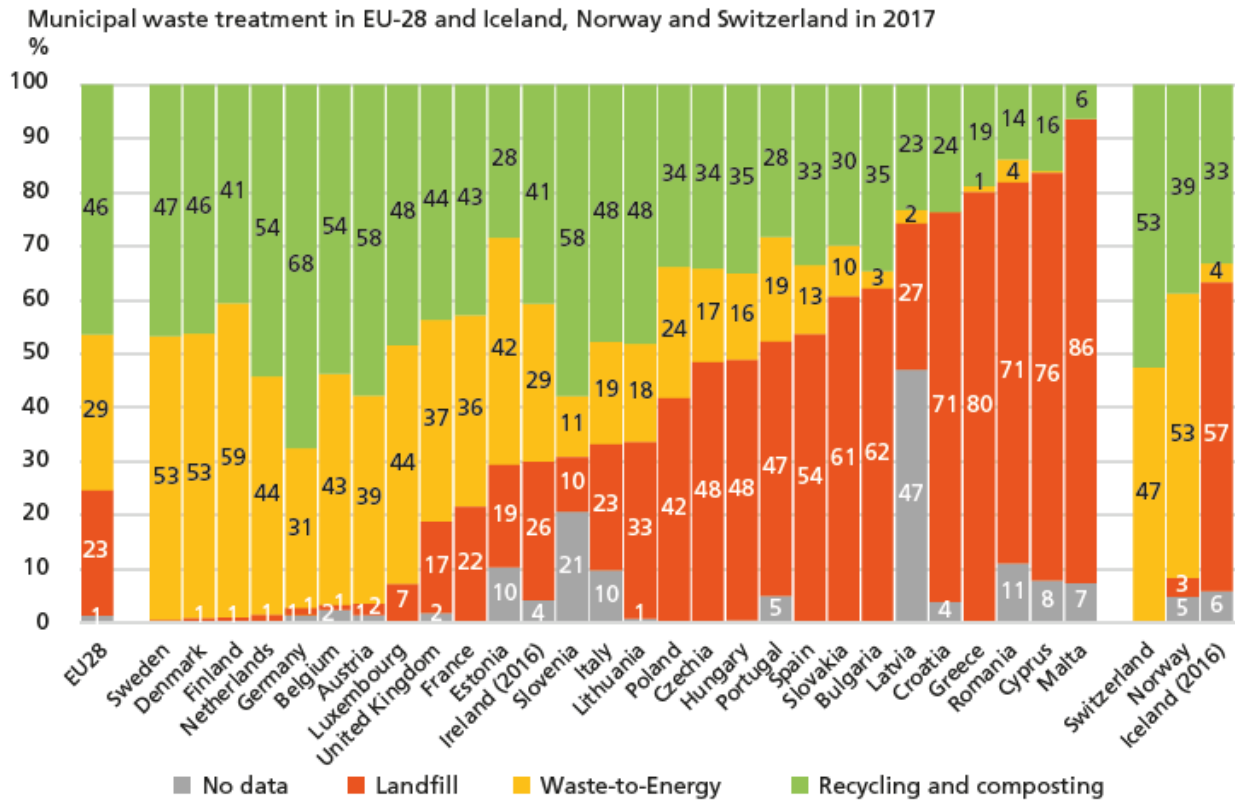


Figura 16. Apropiación tecnológica de la tecnología Waste to energy en Europa.

Fuente: Eurostat; Municipal waste by waste operations (env_wasmun), 2017 data, 2019

3.3.1 Análisis de resultados de búsqueda

A partir de la vigilancia estratégica y con el ejercicio bibliométrico se evidencian los intereses de diferentes áreas (ver figura 17) entre ellas las de energía, ingeniería y de ambiente entre otras; los documentos por área de investigación a partir de la ecuación general exponen el interés multifocal de dichas áreas y como la sociedad actual demanda investigaciones, proyectos y publicaciones que estriben en una visión sistémica que aporte soluciones o tecno-factos que integren esta filosofía o tendencia.

Los sistemas de termovalorización y las plantas WtE son un ejemplo de un elemento innovador que responde a la necesidad de soluciones ingenieriles que producen energía a partir de la mitigación de una problemática social como lo son la gestión de los RSU.

Documents by subject area

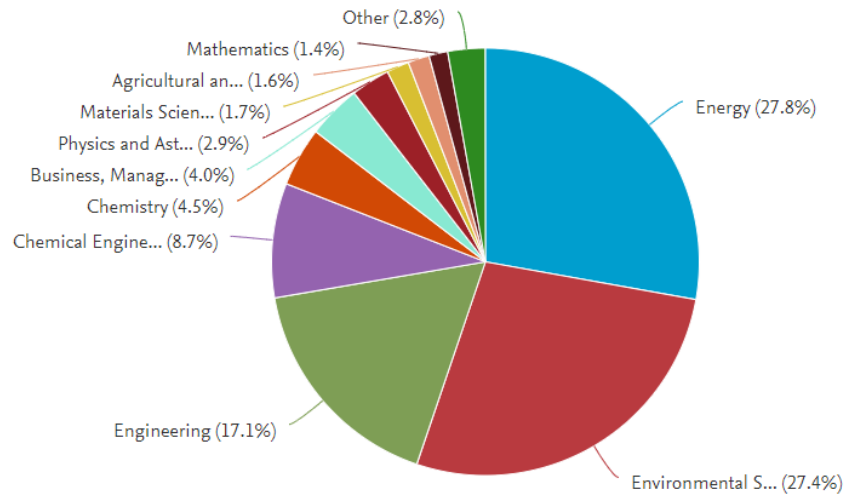


Figura 17. Documentos por área de investigación con la ecuación general

Fuente: Scopus

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Al depurar la ecuación de búsqueda para países de Occidente como ha mostrado el ejercicio, los indicadores muestran y conservan la tendencia mundial, con unas leves variaciones porcentuales.

Documents by subject area

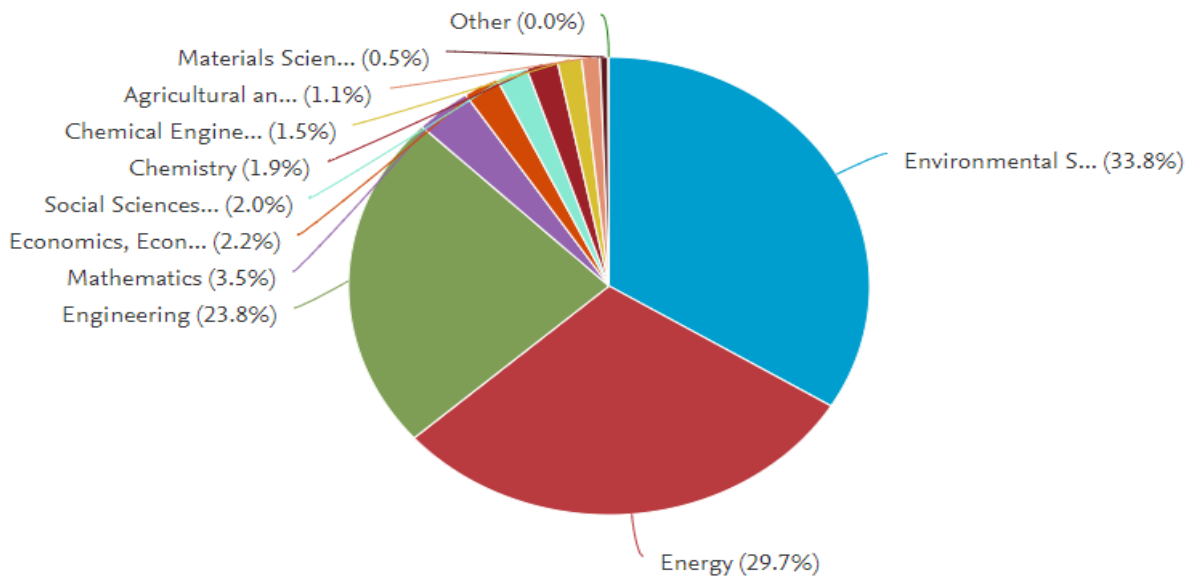


Figura 18. Documentos por área de investigación con la ecuación depurada

Fuente: Scopus

Para el caso de los países de Estados Unidos, Canadá y la unión europea hay una suma preocupación por nuevos métodos de generación de energía a partir de la implementación del uso de energías renovables incluidas las no convencionales, al centrar el análisis en los países occidentales se muestra un incremento en las áreas de interés de tipo energético, ambiental y de ingeniería. La tendencia mundial y occidental en publicaciones e investigaciones con el concepto Waste to energy se sostiene lo que conlleva a la generalización de que la problemática ambiental, la dependencia energética a los recursos de origen fósil han impulsado y motivado la investigación en nuevas áreas de interés donde priman los elementos descritos.

la figura 19 muestra como la tendencia mayoritaria con un 80% en volumen de publicaciones liderando la tendencia lo tienen los artículos científicos, le suceden en proporción las publicaciones de libros con un 10.8% y en tercer lugar las publicaciones de revistas especializadas con un 7.7% ambas.

Documents by type

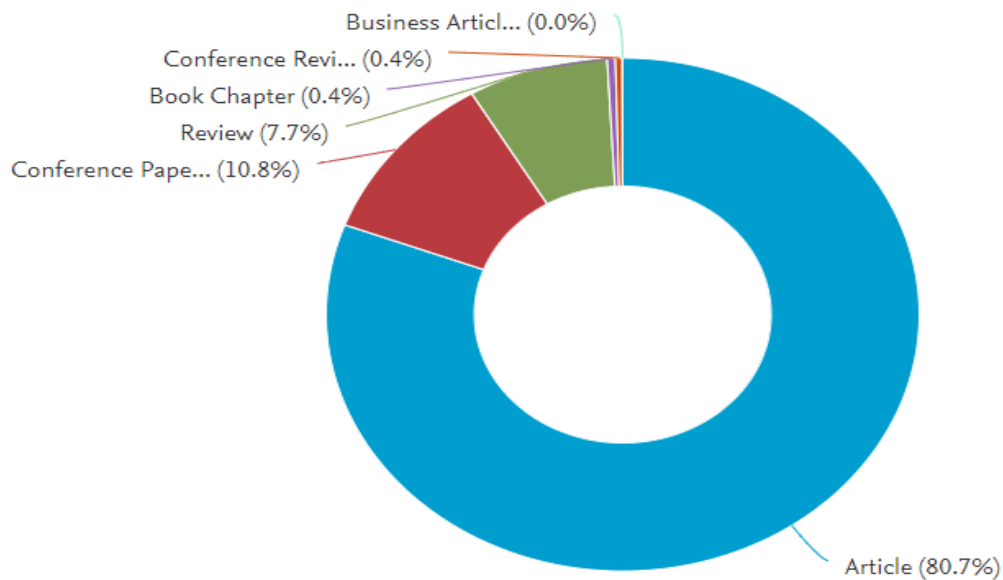


Figura 19. Tipo de documentos por área de investigación con la ecuación general

Fuente: Scopus

Es pertinente resaltar que la predominancia de las publicaciones científicas tipo artículo son jaladas por las comunidades académicas de investigadores y por las unidades privadas de investigación del sector energético.

Al contrastar los resultados de las figuras 19 y 20, la depuración entre Occidente y el resto de los países no presenta un cambio en la tendencia y se conserva la correlación entre el tipo de documentos generados a nivel mundial respecto de los países occidentales.

Documents by type

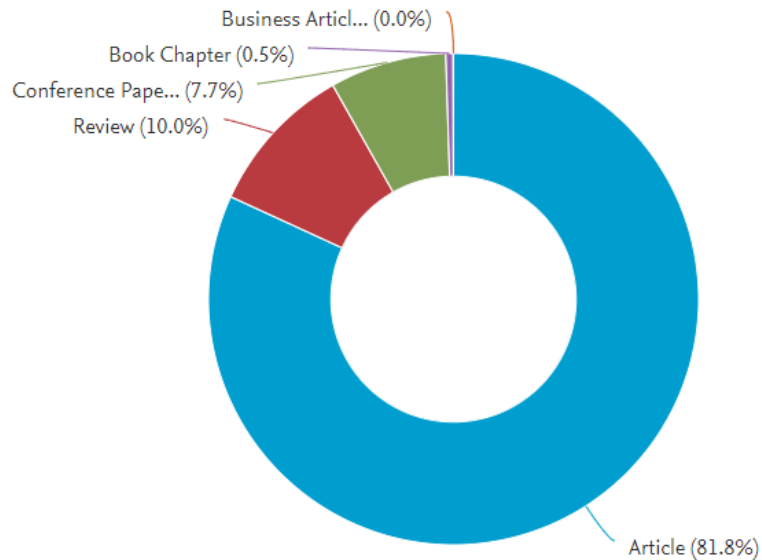


Figura 20. Tipo de documentos por área de investigación con la ecuación depurada **Fuente:** Scopus

Esta sincronía o tendencia manifiesta las necesidades de todos los países en términos no solo de generación de conocimiento sino la sintonía con la causa ambiental, la generación de energía y el desarrollo de políticas gubernamentales que propendan no solo una Gestión integral de residuos sino su aprovechamiento energético a partir de la termovalorización sustentable y eficiente.

3.3.2 Ajuste de ecuación de búsqueda

Al ajustar la ecuación de búsqueda (Waste And Energy or Management or Technology and Energy) se delimitó un espacio de cinco años (2015-2020), se refinó a artículos, revistas,

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

libros y capítulos de libros científicos, además simposios y conferencias relacionados con la ingeniería ambiental, química, mecánica y de materiales; para temas de idioma se incluyeron los nueve países con mayor producción literaria en el tema, al igual que para el tema del área de los documentos buscados se limitó a áreas como: administración de residuos sólidos, generación de energía con RSU, materiales para procesos de combustión, pirólisis, gasificación y termodinámica aplicada a gasificación de desechos (Anexos C y D).

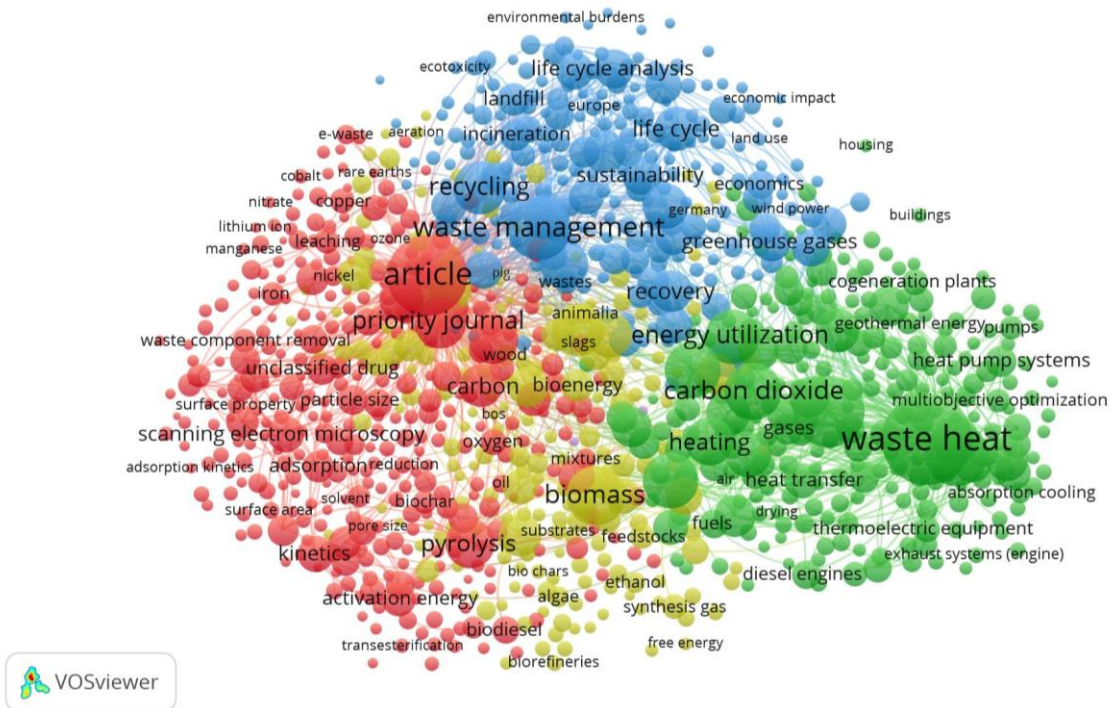


Figura 21. Nube de dispersión de la ecuación depurada, de palabras clave por tema.

Fuente: Vosviewer

Posterior a la afinación de búsqueda la figura 21 expone diferentes nubes de dispersión de la ecuación depurada, de palabras clave por tema con la utilización de la herramienta Vosviewer y puede observarse por tanto como en las publicaciones analizadas los términos preponderantes son los artículos (en color rojo y mayor área), la producción u utilización del calor a partir de RSU (color verde) y como tercer elemento destacado el concepto de administración de residuos (color azul).

3.3.3 Reportar nuevos hallazgos

En relación con los nuevos elementos de análisis puede observarse en las publicaciones analizadas y en los Artículos como destacan autores e investigaciones de origen asiático (figura 22), esto debido a que su disponen de un Sistema Nacional de Innovación que trabaja mancomunadamente con el sector productivo, es decir el Estado y sector privado trabajan en sinergia y esto potencializa los resultados en ciencia y tecnología desarrollando modernos impresionantes parques tecnológicos, donde se aúna el trabajo de las universidades y de las empresas punteras lo que se manifiesta tanto en patentes, como en investigaciones de renombre mundial y con exponentes o titulares de estas latitudes.

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

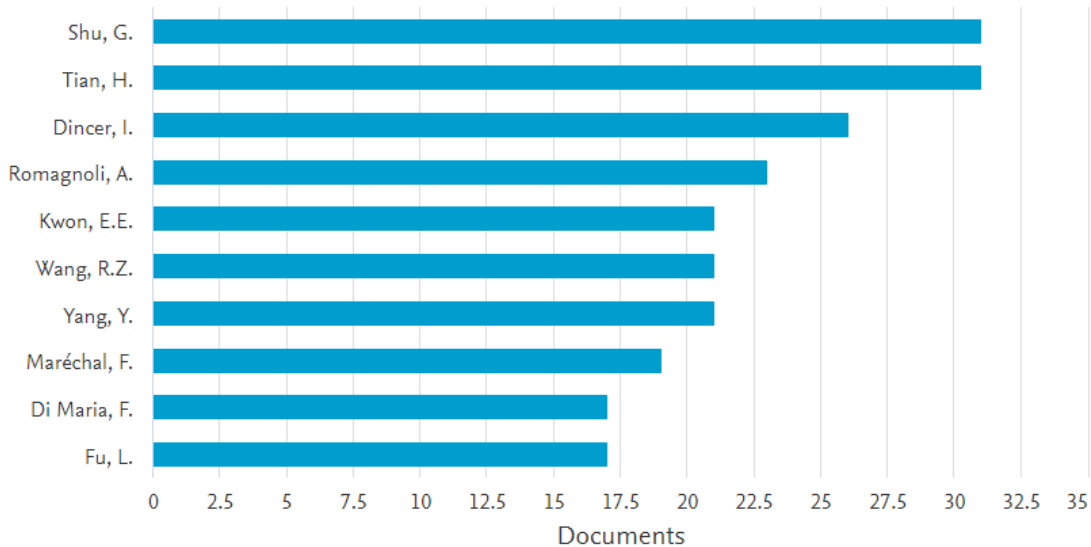


Figura 22. Documentos por autor de ecuación depurada.

Fuente: Scopus

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

El ministerio de educación de China lidera la lista de publicaciones debido a sus sobresalientes de Sistemas Nacionales de Innovación, además, en el listado se evidencian las publicaciones de las universidades asiáticas que proveen de investigadores a los siete parques tecnológicos de la zona de los, los países de Asia Oriental como Japón, Corea del Sur y China y sus respectivas universidades como se expone en la figura 23.

Documents by affiliation

Compare the document counts for up to 15 affiliations.

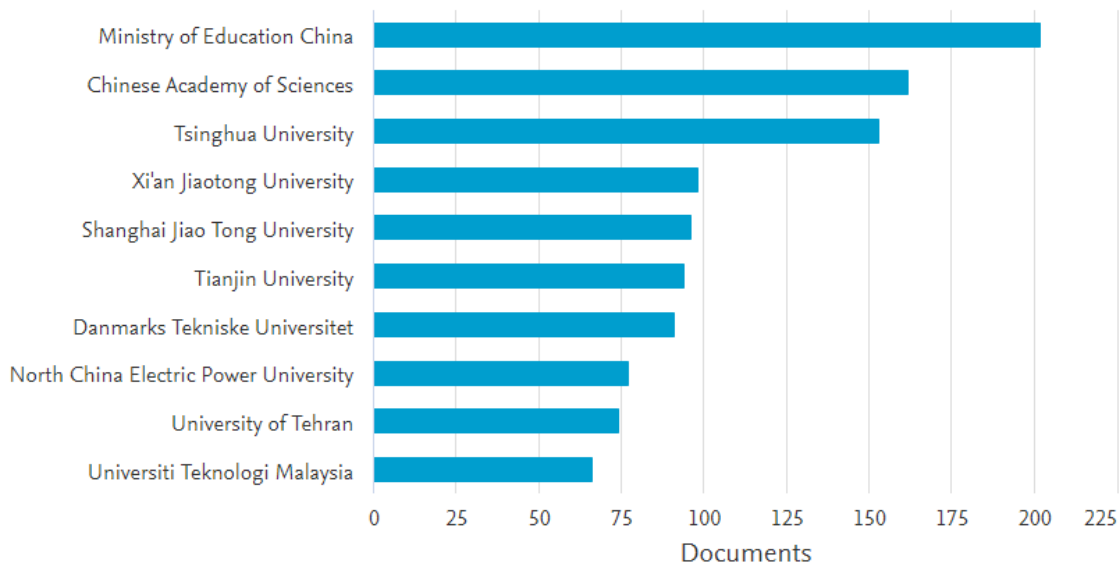


Figura 23. Documentos por afiliación de ecuación depurada.

Fuente: Scopus

Otro factor Clave en la predominancia Asiática en la producción de material académico tiene que ver con la transferencia de tecnología del sector energético, la industria y la academia ya que en él se identifican, categorizan y caracterizan las necesidades y demandas de los productores y esta virtuosa relación potencializa además las tecnologías WtE como alternativas de solución tecnológica socialmente aceptada y masificada en esta región del globo.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

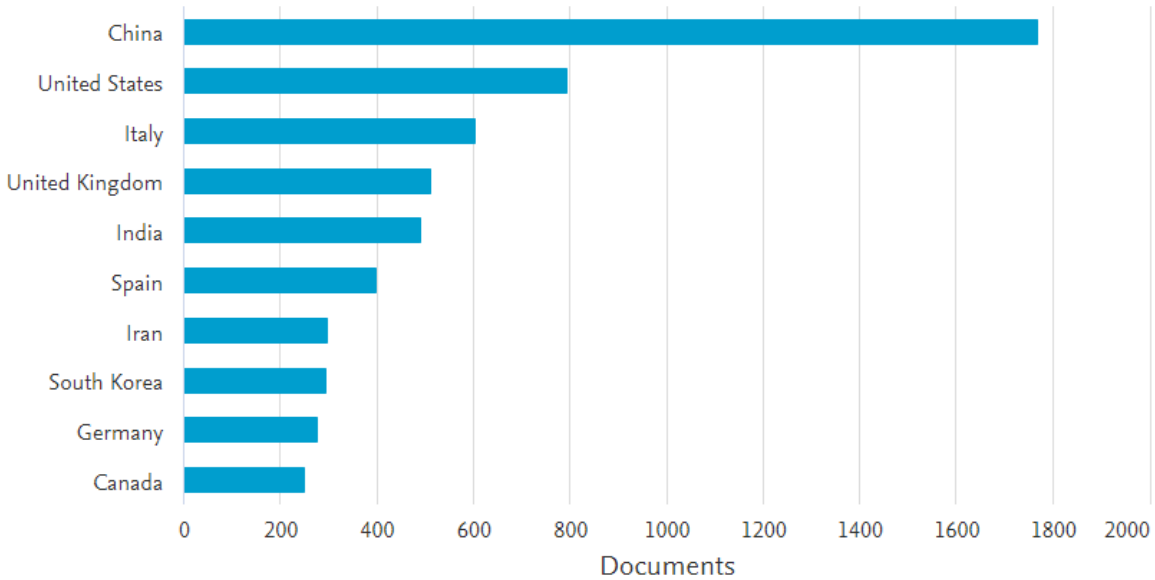


Figura 24. Documentos por ciudad o territorio de ecuación depurada.

Fuente: Scopus

Al comparar las 83 plantas WTE operativas en los EE . UU . y una capacidad nominal total de más de 2553 MW. Emplean solo alrededor del 13% de los desechos sólidos municipales (MSW) generados en contraste con China que aumento el número de plantas WtE de 74, en 2008, a alrededor de 400, en 2018. Puntualmente China tiene alrededor de 7,3 gigavatios de capacidad instalada de conversión de residuos en energía, con sus 339 plantas durante 2017. La conversión de residuos en energía del país ha crecido en promedio 1 GW por año (Chulok, 2021).

El análisis anterior es consistente desde el contexto técnico, pero también es manifiesto en el volumen de investigaciones y documentos generados por las dos potencias. Contrastar los hallazgos Bibliométricos versus los de vigilancia tecnológica amplían la perspectiva no solo desde el ámbito académico sino desde el ángulo propiamente ingenieril, pero ambos

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

constituyen un sustrato de información que sirven de insumo para políticas públicas integrales y pertinentes a los contextos actuales de demanda energética, de tendencia investigativa y sensibilidad ambiental.

La Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NSFC) fomenta la cooperación internacional y el intercambio en la investigación básica. Ha firmado 93 acuerdos de cooperación Internacional con socios en 49 países, tanto en Asia, Europa y Norteamérica, dicha transferencia de tecnologías hace que el País asiático lidere esta lista de categorías de documentos relacionados por patrocinador. En la Figura 24 China encabeza el listado de producción científica y le siguen otras instituciones de los países occidentales.

Documents by funding sponsor

Compare the document counts for up to 15 funding sponsors.

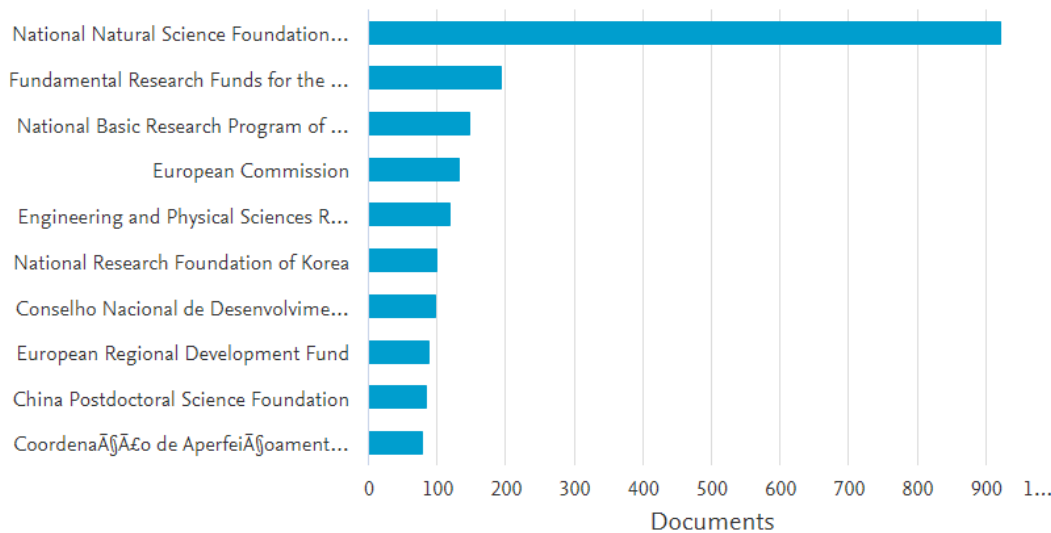


Figura 25. Documentos por patrocinador de ecuación depurada.

Fuente: Scopus

3.4 Indicadores bibliométricos Conclusivos

Los Resultados del ejercicio Bibliométrico exponen un liderazgo por los Países Asiáticos tanto en apropiación de la tecnología, como en difusión del conocimiento. La alta apropiación de la tecnología WtE de los países asiáticos esta manifiesta no solo en el liderazgo de los indicadores expuestos en esta investigación sino en la difusión de la tecnología y el desarrollo de conocimiento aplicado en relación tanto a áreas de ingeniería, como comerciales y políticas en contraste con los secundantes países occidentales tienen como perspectivas de aplicación a nivel masivo y macro a pesar del desarrollo tecnológico; es decir mientras Asia apunta a micro centrales en mayor cantidad el resto del mundo apuesta por macro centrales de aprovechamiento energético para disminuir un mayor volumen de RSU pero aprovechando ambas tendencias la termodestrucción para producir energía.

3.4.1 Tendencias de investigación por países.

La masificación del número total de plantas WtE en el territorio Asiático, además de ser centro de interés académico por el sector privado y a la vez foco de política ambiental expone un elevado número de documentos como patentes, investigaciones y políticas gubernamentales íntimamente ligadas al proceso de termovalorización, reciclaje y producción de electricidad con fuentes energéticas no convencionales, como muestra la figura 26.

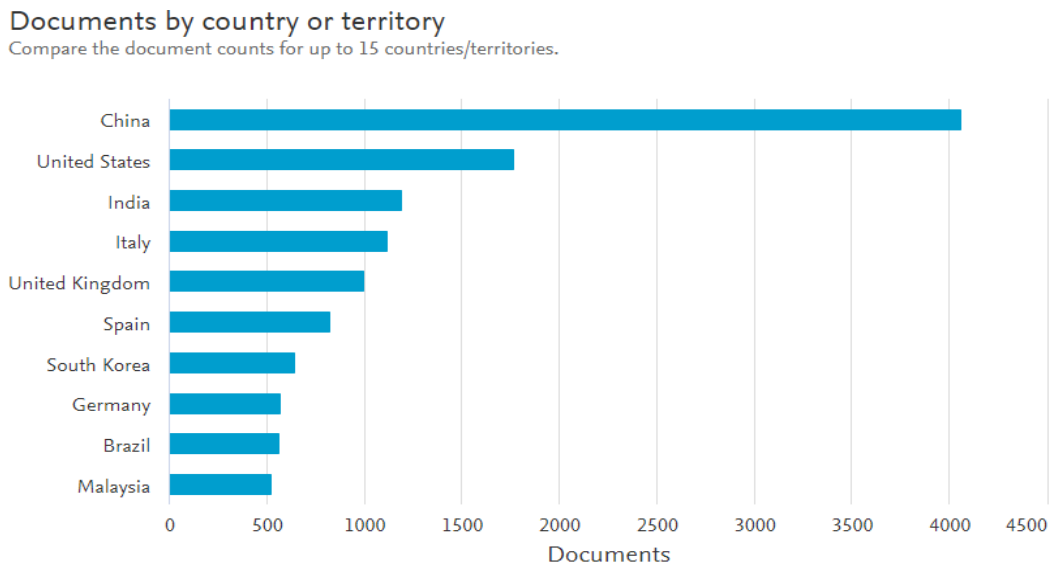


Figura 26. Documentos por ciudad o territorio de ecuación general a nivel mundial.

Fuente: Scopus

3.4.2 Tendencia por instituciones o grupos de investigadores

En consecuencia, la figura 27 muestra los investigadores Asiáticos que lideran el listado de los 15 investigadores con mayor índice de citación como correlación directa al mayor número de investigaciones, de patentes y de plantas WtE.

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

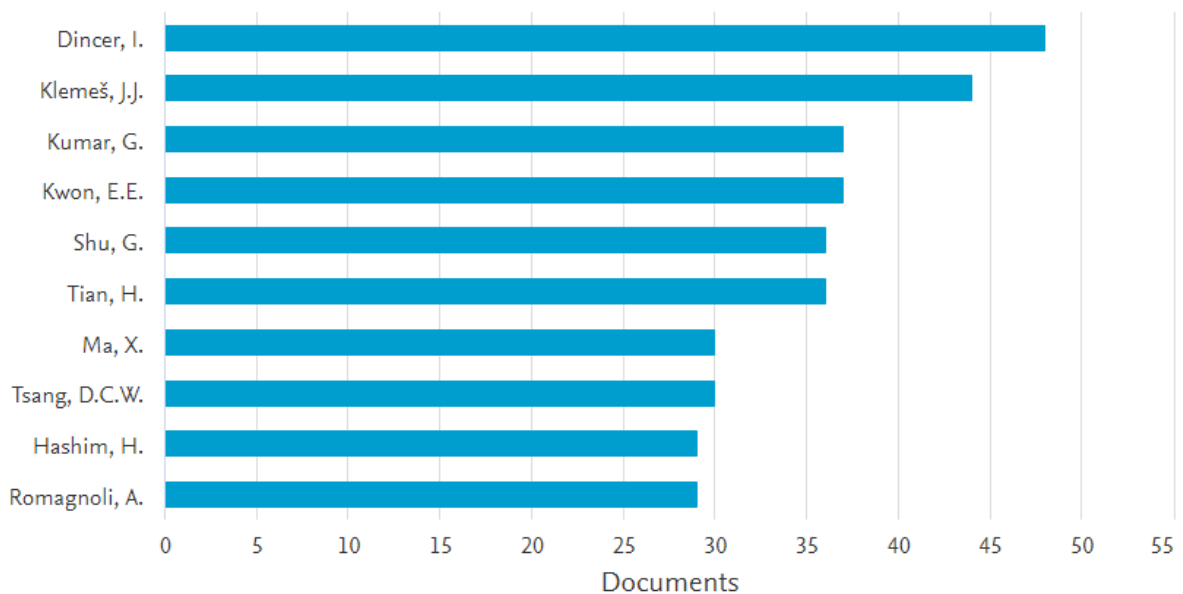


Figura 27. Documentos por autor de ecuación general a nivel mundial.

Fuente: Scopus

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

La figura 28 expone los documentos por autor a partir de la ecuación general para investigadores de Norteamérica América, y muestra también la cantidad de artículos desarrollados.

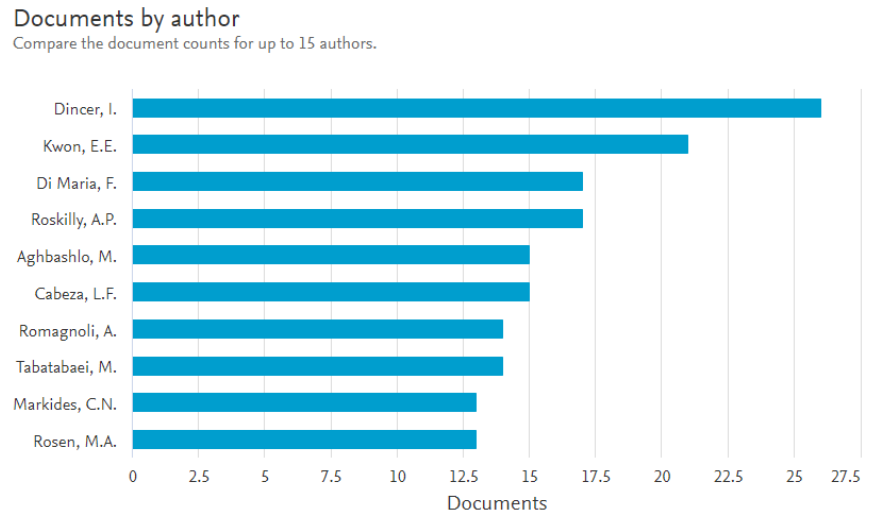


Figura 28. Documentos por autor de ecuación general a nivel de América.

Fuente: Scopus

Cabe resaltar que tanto los países de occidente como los de origen Asiático tienen un enfoque en común respecto de las áreas del conocimiento en el que están centradas sus publicaciones, investigaciones y patentes.

La figura 29 expone Para todos los diferentes escenarios planteados con las ecuaciones de búsqueda depurada y sin depurar coinciden en los núcleos temáticos de Energía, ambiente e ingeniería.

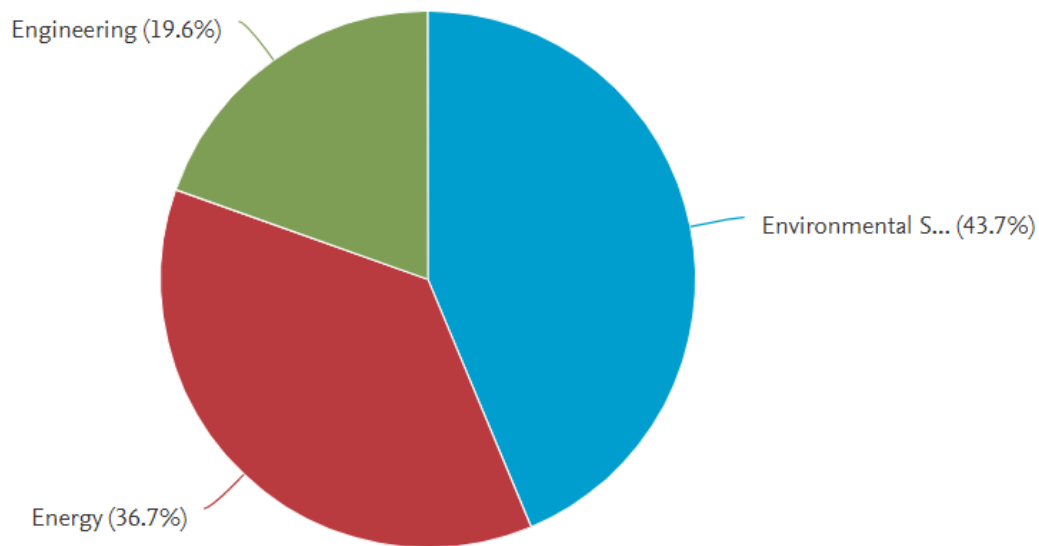


Figura 29. Líneas de investigación Waste to Energy.

Fuente: Scopus

3.5 Marco legal

3.5.1 Normativa nacional en relación con fuentes no convencionales de energía

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.

3.5.2 Contexto normativo relacionado con la gestión de residuos sólidos

Los antecedentes normativos respecto del manejo integral de los residuos sólidos en el país han evolucionado hasta convertirse en una política pública la cual está respaldada por una serie de normativas encaminada a la gestión Adecuada de estos y al cuidado del ambiente. En Colombia el Artículo 5 de la ley 142 de 1994 delimita la responsabilidad a los municipios

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

para asegurar que se presten a sus habitantes, de manera eficiente, los servicios domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, por empresas de servicios públicos de carácter oficial, privado o mixto, o directamente por la administración central del respectivo municipio en los casos previstos.

El Decreto 1713 expedido por la Presidencia de la República (2002) reglamentó el servicio público de aseo y la gestión integral de residuos, modificado parcialmente por el Decreto 1505 de 2003 en relación con los PGIRS o planes de gestión Integral de residuos sólidos. En este último se estableció la obligatoriedad de las entidades territoriales de elaborar y mantener actualizado el PGIRS derogado por el art. 120, Decreto Nacional 2981 de 2013, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, compilado Decreto 1077 de 2015 "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio."

La metodología establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] en la Resolución 1045 de 2003, derogada por la Resolución 754 de 2014 “Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos”.

¿Cuál es la competencia de la ANLA para otorgar Permiso de Emisiones Atmosféricas para Fuentes Fijas?

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales tiene competencia para la evaluación, seguimiento y otorgamiento de Permiso de Emisiones Atmosféricas para Fuentes Fijas, cuando el solicitante corresponde a Corporaciones Autónomas Regionales o Autoridades Ambientales, igualmente en aquellos casos en donde se asuma la competencia por facultad discrecional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Para Macroproyectos de vivienda y Proyectos Integrales de Desarrollo Urbano (PIDU), se fundamenta la competencia en la Ley 1537 de 2012 Artículo 48: Permisos y licencias en el

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

marco de los Macroproyectos de interés social nacional. “La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales otorgará de manera privativa las licencias, permisos, concesiones y autorizaciones de tipo ambiental que, de acuerdo con la ley y los reglamentos, se requieran en el proceso de factibilidad, formulación, y para el desarrollo de obras y actividades contempladas en los Macroproyectos de interés social nacional y en los proyectos integrales de desarrollo urbano de que tratan las Leyes 1151 de 2007 y 1469 de 2011 y el Decreto-ley 4821 de 2010.”

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA (s.f) se rige en la siguiente normatividad para otorgar Permiso de Emisiones Atmosféricas para Fuentes Fijas las cuales aplicaría a proyectos Waste to Energy:

- Ley 9 de 1979: “Por la cual se dictan Medidas Sanitarias”.
- Decreto – Ley 2811 de 1974: “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.
- Ley 1801/2016. Código nacional de policía y convivencia ciudadana.
- Decreto 1076 de 2015: “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Libro 2 Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2 Reglamentaciones, Título 5 Aire, Capítulo 1 Reglamento de protección y control de la calidad del aire, en las siguientes secciones:
 - Sección 1 – PROTECCIÓN Y CONTROL hasta la Sección 12 – RÉGIMEN SANCIONATORIO, que compila el Decreto 948 de 1995 y sus modificaciones,
 - Resolución 1351 de 1995: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por medio de la cual se adopta la declaración denominada informe de Estado de Emisiones (IE-1).”

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- Resolución 898 de 1995: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.”
- Resolución 1619 de 1995: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se desarrollan parcialmente los Art. 97 y 98 del decreto 948 de 1995, modificado por el Decreto 2107 del 30 de noviembre de 1995”.
- Resolución 125 de 1996: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se adiciona la Resolución 898 de agosto de 1995 en la que se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles sólidos y líquidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”.
- Resolución 2254 de 2017: Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”.
- Resolución 619 de 1997: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.”
- Resolución 58 del 2002: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se establecen normas y límites máximo por emisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos”.
- Resolución 886 del 2004: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 0058 del 21 de enero del 2002 y se dictan otras disposiciones”.

- Resolución 532 de 2005: expedida por los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial "Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras".
- Resolución 909 de 2008: expedida por el 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 650 de 2010: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: "Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire". (Inmisión).
- Resolución 651 de 2010: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: "Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE". (Inmisión).
- Resolución 760 2010: expedida por el 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 1309 de 2010: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: "Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008".
- Resolución 2153 de 2010: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: "Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones".

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- Resolución 2154 de 2010: expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”. (Inmisión).
- Resolución 1632 de 2012: expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: “Por la cual se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y ajustado por la Resolución 2153 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”.
- Resolución 324 de 2015: expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales: “Por la cual se fijan las tarifas para el Cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de licencias, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de control y manejo ambiental y se dictan otras disposiciones”.

3.5.3 Marco normativo local, normatividad y reglamentación en el municipio de Medellín relacionada con la gestión de residuos sólidos

De acuerdo con la página de la Gaceta del Municipio de Medellín (s.f), se ha realizado la formulación y actualización del PGIRS a través del tiempo como se ilustra a continuación en concordancia a los cambios normativos:

- DECRETO 0677 DE 2005, “Por medio del cual se conforma el Grupo Coordinador y el Grupo Técnico de Trabajo para la formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS- del Municipio de Medellín.
- DECRETO 2078 de 2005 “Por medio del cual se adopta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS- del Municipio de Medellín.



Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- DECRETO 818 DE 2008, “Por medio del cual se modifica el Decreto 2078 de 2005 por el cual se adopta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del Municipio de Medellín.”
- GACETA OFICIAL N° 3756 DECRETO 1906 DE 2010, "Por medio del cual se adopta la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del Municipio de Medellín y se toman otras determinaciones.
- DECRETO 0636 DE 2015, “Por medio del cual se conforma el Grupo Coordinador y el Grupo Técnico de Trabajo para la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS- del Municipio de Medellín.
- GACETA OFICIAL N°4355 DECRETO N° 2059 DE 2015, “Por el cual se adopta la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS – del Municipio de Medellín.

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Con base en la ecuación de búsqueda delimitada para los países occidentales puede observarse la relación, las conexiones, mapa de calor y como interactúan entre si los términos de búsqueda del presente ejercicio, en la figura 31 y en color rojo destacan los artículos y revistas como fuente primaria de información, en color verde la prevalencia e importancia del concepto producción de calor y utilización de energía; en azul lo relacionado a la gestión de residuos, reciclaje, economía y sustentabilidad; en color verde aceituna, biomasa y biocombustibles. Con una ecuación de búsqueda ajustada y refinada se exponen los conceptos y tendencias de interés por los países en análisis y a su vez las líneas tanto económicas como de interés en estas naciones.

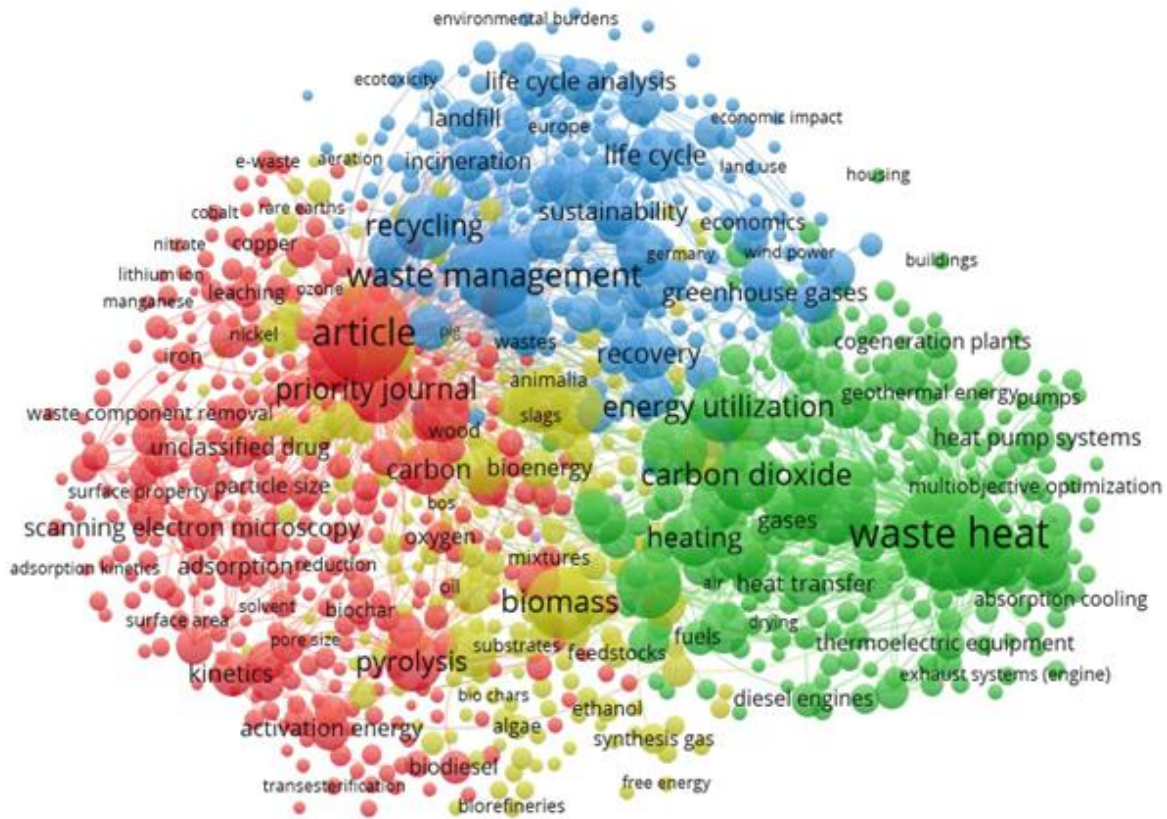


Figura 31. Nube de palabras para occidente. **Fuente:** Voswiever

3.6.1 Iteración de palabras clave

Para las figuras 31 a 37 se procede a generar un elemento grafico con la herramienta Voswiever y de modo visual relacionar las conexiones, mapa de calor y como interactúan entre si los términos de búsqueda del presente ejercicio.

En la figura 32 el termino Artículo este ligado a conceptos de disposición de residuos, biorreactores y administración de residuos sólidos; En igual sentido y en color azul la palabra biomasa interactúa con los conceptos de biocombustibles, bioenergía metano y digestión anaerobia; igualmente en verde se destaca los elementos de eficiencia energética y uso de energía. Conceptos todos fundamentales alrededor de las tecnologías WtE.

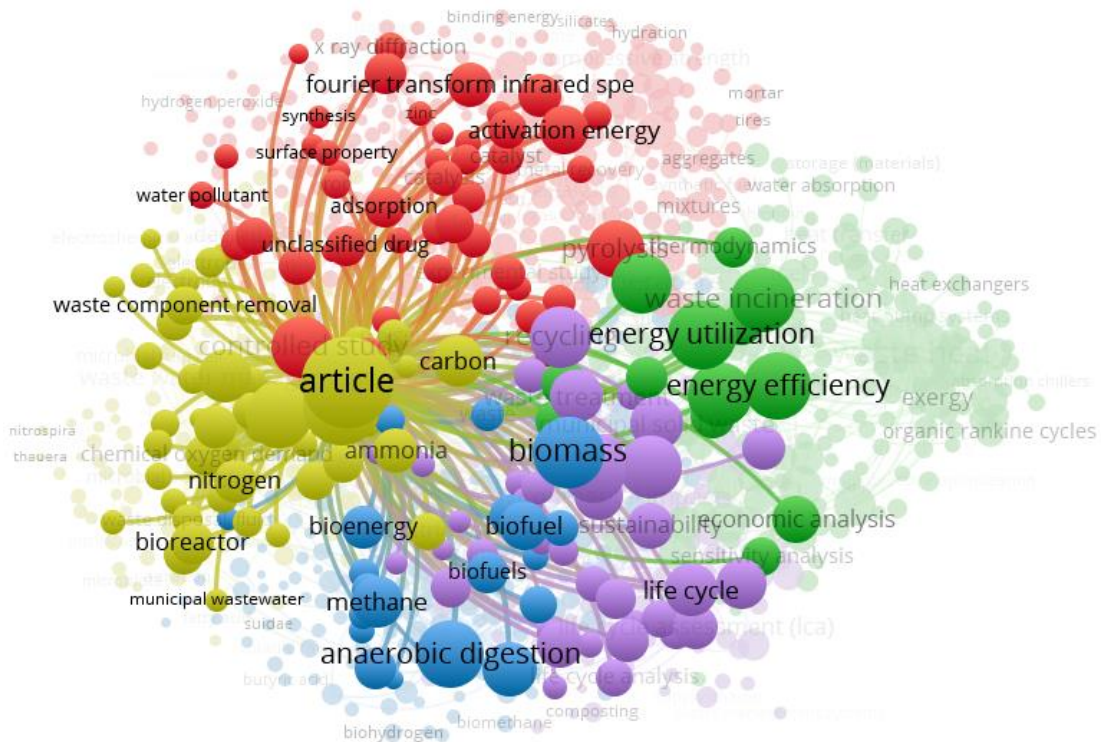


Figura 32. Iteración palabras clave

Fuente: Voswiever

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Para la figura 33 podemos observar color azul la relación entre el término administración de residuos con palabras de análisis de ciclo de vida de productos, reciclaje, RSU, emisión de gases y rellenos sanitarios. La imagen destaca la concordancia de esta terminología dentro de la literatura científica y es a su vez un insumo visual que ratifica las tesis de los investigadores en sus artículos y publicaciones.

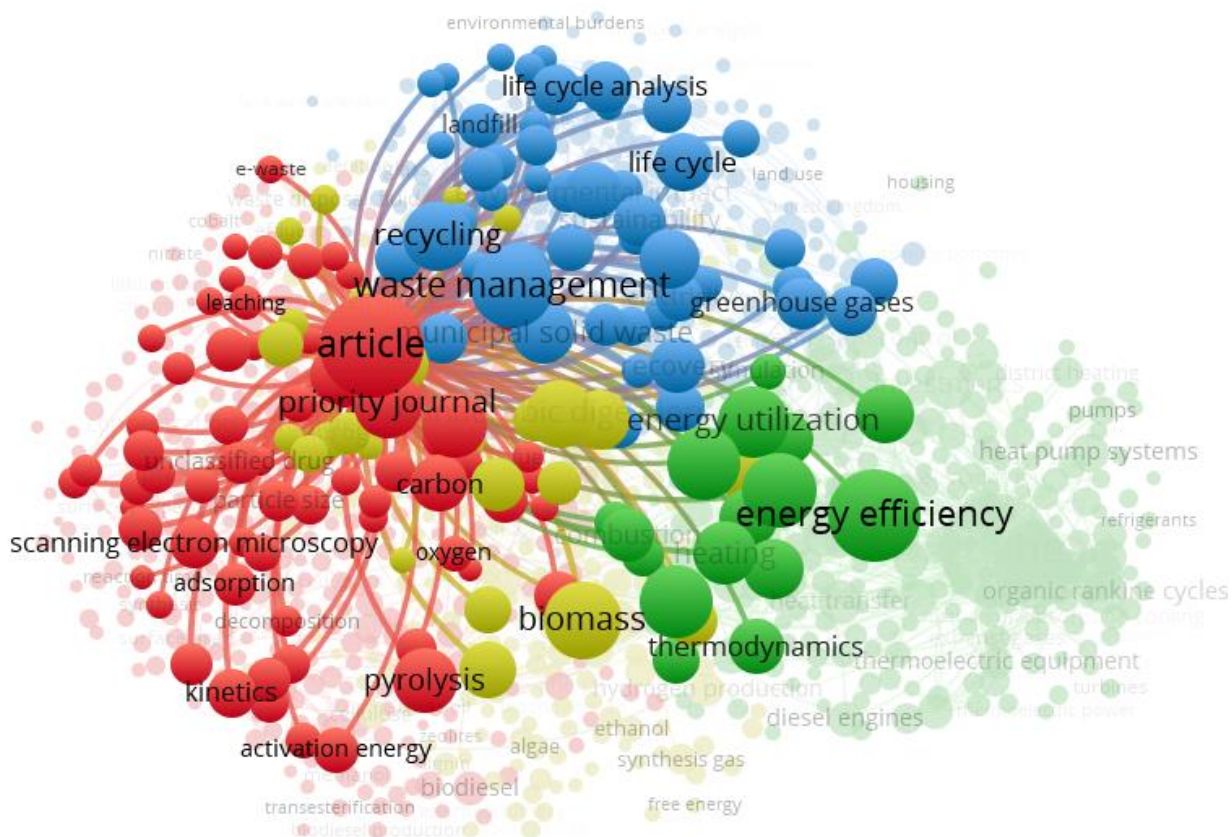


Figura 33. Iteración de la administración de residuos

Fuente: Voswiever

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

En la figura 34 resalta la Iteración de la tematica Energy utilization (color verde) en armonia con las palabras calor a partir de residuos, incineracion de residuos y tambien con los conceptos Administracion de RSU, sostenibilidad, ciclo de vida de compuestos y todos estos ligados a la estructura de la palabra articulo exalta la tendecia de los investigadores por estas tematicas y a su vez muestra el tipo de material científico que destaca con mayor indice de repercusion en la comunidad academica.

Los articulos relacionados con sostenibilidad ambiental, generacion de energia y gestion de residuos tienen un alto nivel tanto de produccion como de difucion enntre acadeicos e intituciones de generacion de conocimiento.

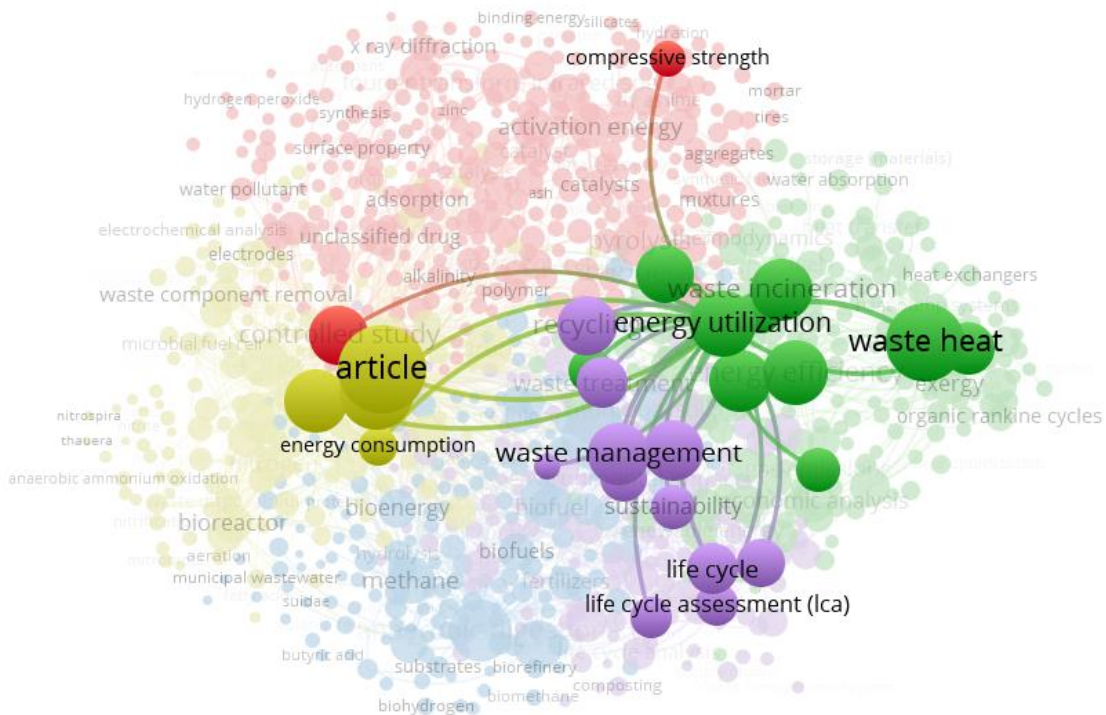


Figura 34. Iteración del término energy utilization

Fuente: Voswiever

La palabra Biomasa expresa en la figura 35 por si sola una fuerte conexión con la tentativa Waste to Energy, pero al utilizar la herramienta de visualización grafica expresa su fuerte codependencia a las temáticas de eficiencia energética, incineración de residuos, biocombustibles. En las plantas y procesos de tipo WtE la biomasa representa uno de los ejes técnicos más sólidos y robustos como fuente precursora de investigaciones, tecno- factos y artículos de índole científica y académica.

la incineracion RSU y la eficiencia energetica de estos en los procesos WtE, constituyen por tanto con la biomasa uno de los insumos investigativos con gran ponderacion y protagonismo en el ambito academico.

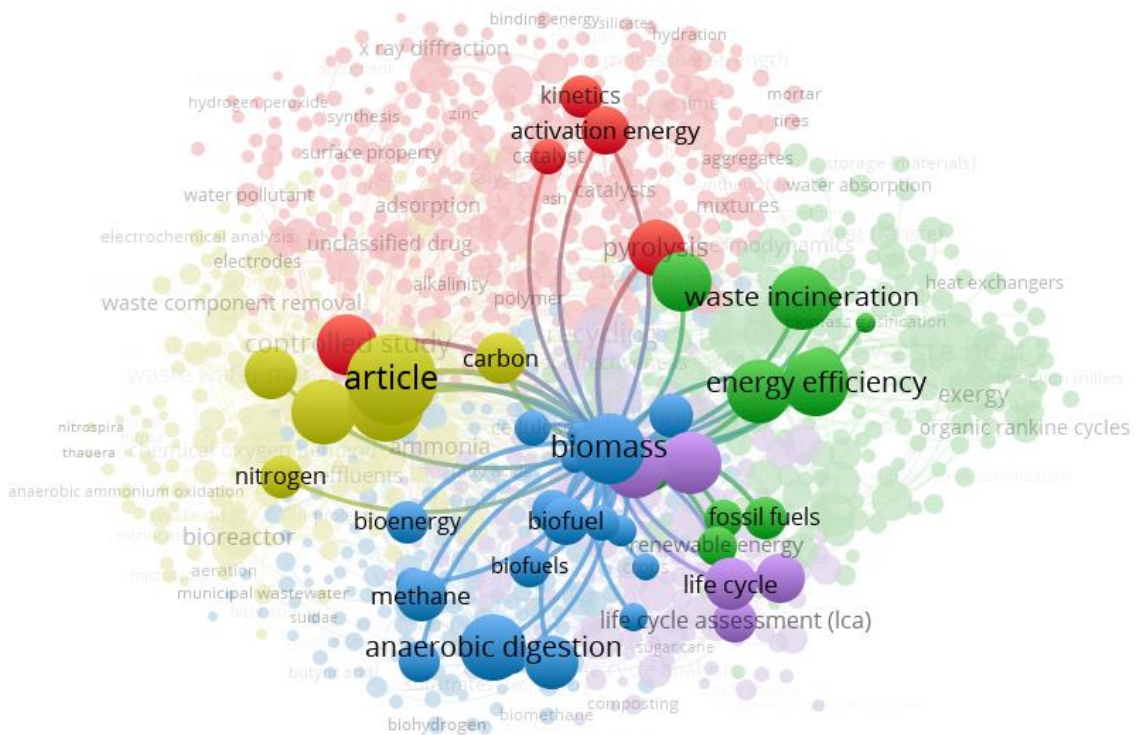


Figura 35. Iteración del término Biomasa

Fuente: Voswiever

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Los procesos de combustión o pirolisis y la tematica de emision de gases en la figura 36 son, con los biocombustibles y la Biomasa una de las lineas temativas de amplia concurrencia en los articulos revisados para el ejercicio bibliometrico y la vigilancia estrategica desarrollada en esta investigacion, estos ejes teamaticos evidencian interes en la comunidad academica por estar ligados a la medula del proceso es decir, un recurso denominado biomasa es sometido a un proceso mecanico para la obtencion de un recurso termico que a su vez es otro recurso de tipo combustible para la generacion de energia electrica, pero que con la debida rigurosidad tecnica es un proceso de minimas emisiones a la atmosfera.

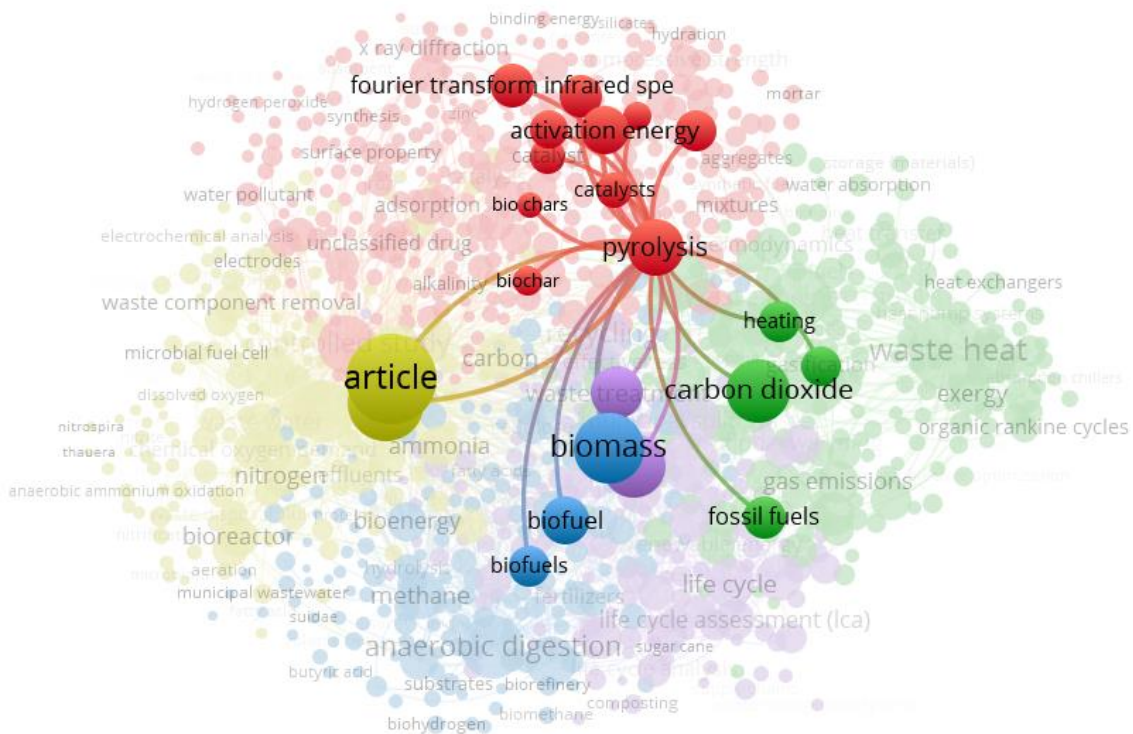


Figura 36. Iteración del término pirolisis, calor, biocombustibles.

Fuente: Voswiever

En la Iteración del término Reciclaje hay una fuerte dependencia con las palabras administración de residuos y recuperación de energía, expone este grafico la importancia de la clasificación sea en la fuente o en planta, este factor optimiza el proceso WtE mejorando las condiciones estequiométricas de los RSU e incide en la reducción de emisiones contaminantes; lo que en suma aporta en la construcción de material académico e investigativo, elementos expuestos en la figura 38.

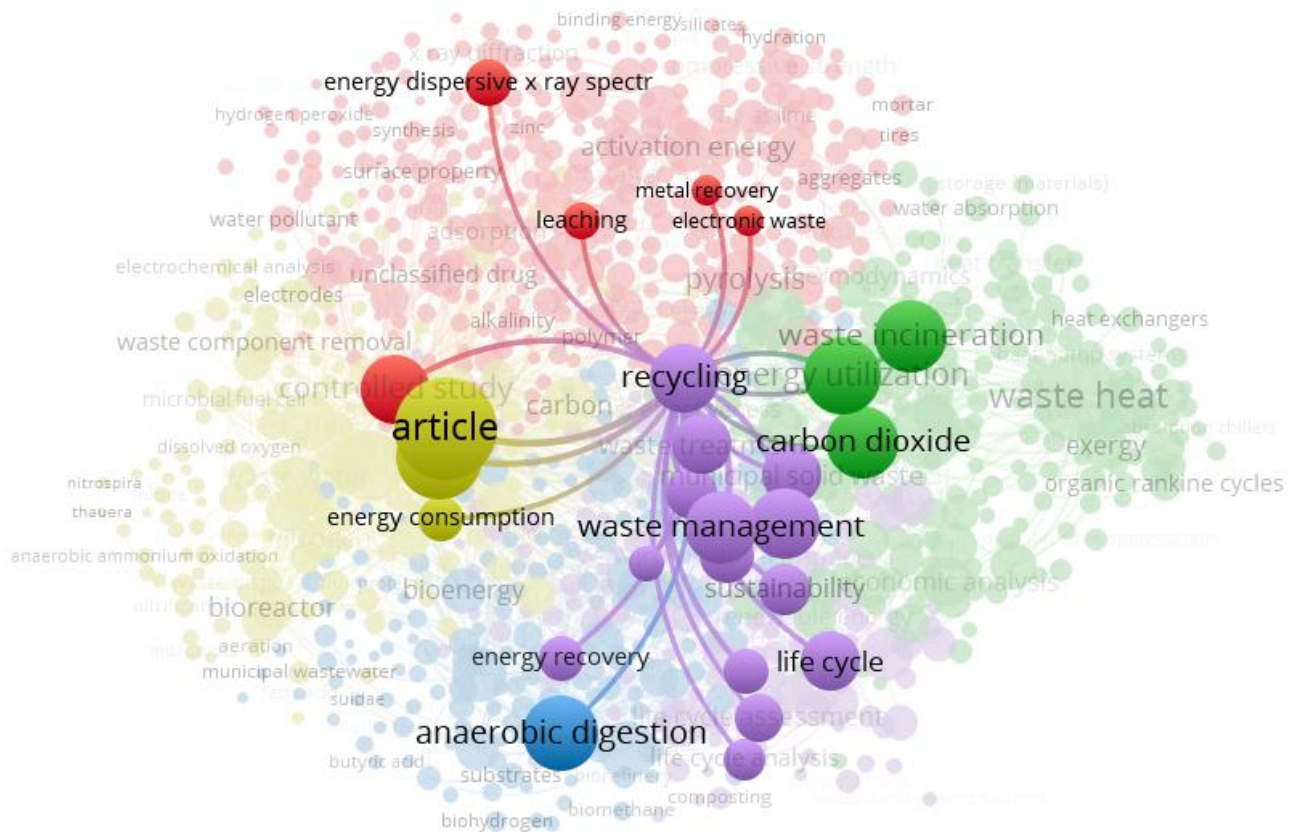


Figura 38. Iteración del término Reciclaje, administración de residuos, recuperación de energía.

Fuente: Voswiever

3.7 Road Mapping

Un “Plan de adopción tecnológica de un Sistema “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín” se constituye como desafío crítico por involucrar en parte la infraestructura del sistema energéticos, la política pública del manejo de los residuos sólidos e involucrar la cultura en torno a políticas ambientales ya que su diseño e implementación exige una planeación no solo capaz de garantizar el suministro energético adecuado sino un modelo enfocado al desarrollo sostenible, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente y se evitan conflictos con otras entes territoriales, sectores económicos o grupos poblacionales. (M.A. Gonzalez-Salazar et al. 2016).

Como herramienta de gestión y análisis el Roadmapping tecnológico “Plan de Adopción” (Ver Tabla 9) es elemento útil para la identificación y evaluación de tecnología, Para el proceso de adopción de tecnología este permite analizar la evolución de la implementación de la tecnología y orientar consecuentemente las estrategias para toma de decisiones teniendo en cuenta que este mecanismo tecnológico ha sido implementado por muchas organizaciones para numerosas y diversas aplicaciones en la innovación, la estrategia y la política en diversos sectores en todo el mundo. (Willyard, C.H. and McClees, C.W., 1987), permitiendo generar una “hoja de ruta como acción estratégica.

El road mapping de la tabla 9 aborda a través de 3 fases (estudios de factibilidad, diseño/construcción y el Momentun operacional) la implementación de una planificación estratégica a largo plazo para garantizar el uso de los recursos energéticos de un sistema WtE para el suministro y demanda de energía que se requiere con urgencia a nivel local y nacional con un análisis externo a través de bibliometría y un mapeo de patentes, literatura y artículos.



3.7.1 Road Mapping “Plan de Adopción”

TIEMPO FASE	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Estudio de factibilidad	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación económica Evaluación técnica Evaluación ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación Social Evaluación Jurídica y legal Asignación de sitios 				
Diseño y construcción		<ul style="list-style-type: none"> Solicitud de permisos Evaluación de diseños 	<ul style="list-style-type: none"> Financiación del proyecto Creación de la capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> Delimitación y construcción Pruebas iniciales 		
Momentum operacional				<ul style="list-style-type: none"> Operaciones de Prueba Evaluación Impacto ambiental Evaluación desempeño Técnico Evaluación desempeño Recurso humano Evaluación Técnico financiera 		<ul style="list-style-type: none"> Modificaciones Implementaciones nuevas Operación completa

Tabla 11. Road Mapping elaboración propia
Adaptado de: International Energy Agency (IEA); 2010

3.7.2 Propuesta Esquemática de Implementación del Roadmapping

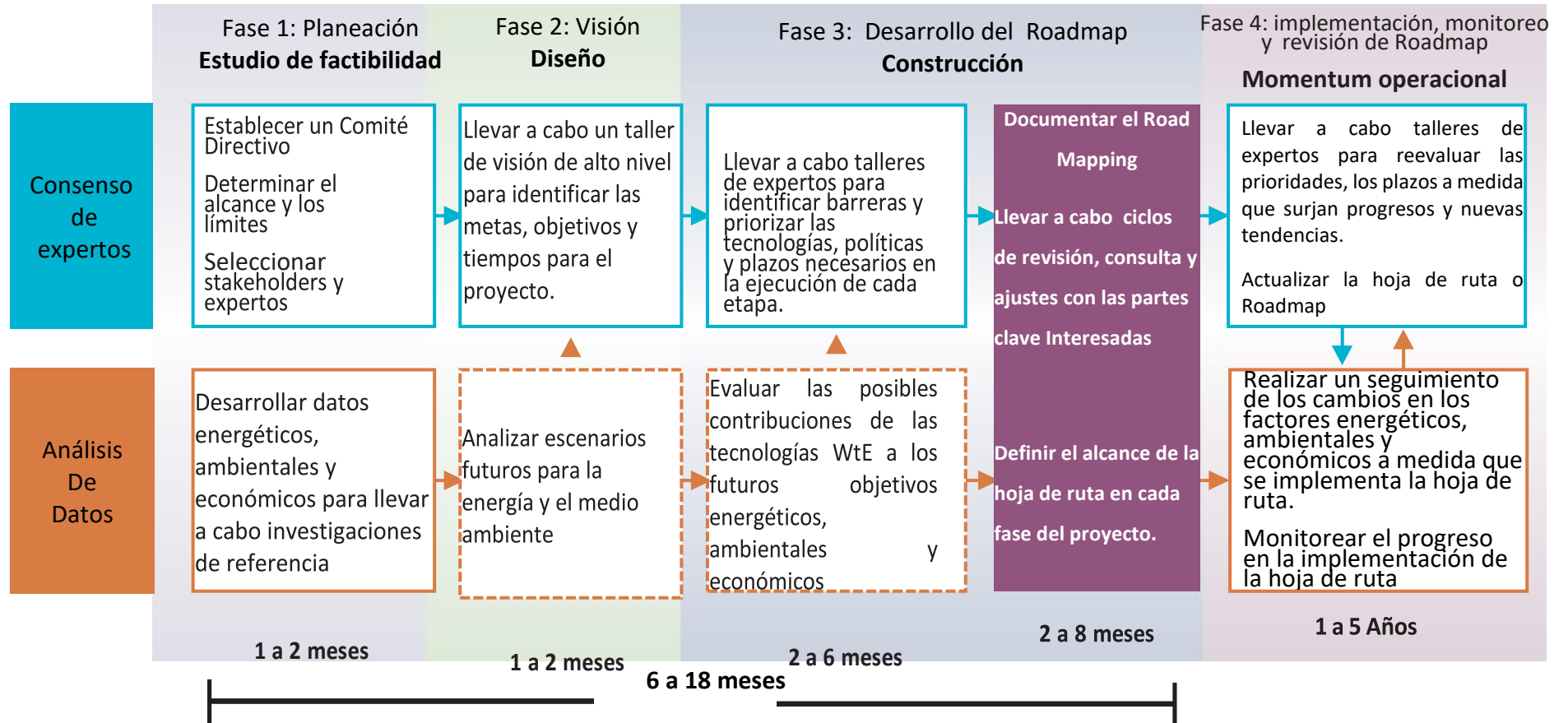


Tabla 12. Analisis Esquemático del plan de Adopción, elaboración propia

Adaptado de: International Energy Agency (IEA); 2014

3.7.2.1 Implementación del Roadmapping

La hoja de ruta describe un conjunto de prioridades (proyectos de investigación, demostraciones de tecnología, avances en políticas, cambios regulatorios y compromisos financieros) que se necesitan durante un período de tiempo definido para lograr los objetivos de la hoja de ruta. La primera etapa de implementación es comenzar esas actividades. Cualquiera que sea el mecanismo de inicio y gestión del proyecto, involucrar a las partes interesadas para abordar las prioridades a corto plazo es un primer paso clave en la implementación de la hoja de ruta (International Energy Agency, 2014).

Fase 1: Planificación y preparación: En la fase de planificación y preparación, la organización y los líderes a cargo la iniciativa de la hoja de ruta o de la ejecución del Road debe responder a varias preguntas: ¿Cuáles son los límites y alcances de cada etapa en el roadmapping?; ¿Qué áreas o clases de tecnología considerará implementar, desarrollar, ejecutar o adoptar por medio de la hoja de ruta?; ¿Qué fuentes de energía o sectores de uso final se considerarán?; ¿Cuál es el marco de tiempo para la ejecución del Roadmap?; ¿La hoja de ruta es un plan de 5 años, un plan de 20 años o un plan de 50 años?; ¿Cuál es el estado actual de la tecnología bajo consideración?, entre otras (International Energy Agency, 2014a)

Fase 2: Vision: Establecer una implica definir el camino deseado para el despliegue de una tecnología; para su proceso de adopción y ejecución. Esta etapa incluye modelado y análisis de escenarios, que son herramientas importantes que se utilizan para definir posibles estados futuros a través del modelado se evalúan los datos fundamentales sobre el crecimiento de la población nacional, cambiando las proyecciones sobre los recursos naturales y el crecimiento económico para sugerir diferentes futuros energéticos y las consecuencias ambientales de esos futuros. (International Energy Agency, 2014b).

Fase 3: Desarrollo del Road Mapp: Una vez que se establece una visión, comienza la fase de desarrollo de la hoja de ruta, que se basa en el análisis y el juicio de expertos para definir las actividades, las prioridades y los plazos necesarios para alcanzar la visión deseada. (International Energy Agency, 2014c).

Fase 4: Implementación, monitoreo y revisión del Roadmap: El lanzamiento de la hoja de ruta y la implementación de sistemas de seguimiento son los pasos de la cuarta (4) y última fase; Idealmente, el organismo responsable de la implementación del Roadmapp rastrea los esfuerzos de las partes interesadas, recopila resultados a medida que se completan los objetivos de cada proyecto y sirve como una fuente centralizada de información sobre el progresodel proyecto de adopción. (International Energy Agency, 2014d).

4. Conclusiones y recomendaciones

Con relación al objetivo general de propuesta de un plan de adopción Tecnológica para tecnologías “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Medellín; se espera que el mercado de tecnologías de conversión de residuos en energía WTE, tenga un crecimiento sustancial a futuro cercano. El ambiente legislativo favorable, la tasa de generación de residuos tanto para la municipalidad en estudio como con la creciente tasa de residuos generados per cápita, la contaminación y las emisiones de CO₂, muchos países de todo el mundo están haciendo hincapié en reducir las emisiones de carbono. El uso de fuentes no renovables, como los desechos sólidos municipales (RSU), para generar energía puede ayudar a estabilizar la creciente huella de carbono lo cual es un escenario ideal para la implementación de dicha iniciativa en Medellín y área metropolitana cercana sea con inversión 100% privada, asociación publico privada o directamente a través del administrador local del servicio de GIRSU (Grupo EPM con operación logística de Emvarias y EPM.)

En cuanto al objetivo específico #1 de determinar los requerimientos para la implementación de plantas “Waste to Energy”, es de aclarar que los RSU son una de las formas de desechos que se producen principalmente en todo el mundo, y se generan casi 2 mil millones de toneladas de estos anualmente. Las tecnologías de conversión de residuos en energía implican un conjunto de tecnologías que tratan estos RSU clasificados o no, para extraer energía en forma de calor y electricidad. Los usos de las tecnologías también ayudan a obtener biogás, como una forma alternativa de combustible.

Todo proyecto de aprovechamiento energético de residuos para la implementación de plantas “Waste to Energy”, es una labor compleja que debe ir acompañada de una evaluación profesional y minuciosa de viabilidad técnica, jurídica, económica y ambiental. Una matriz de decisiones (ver anexo A: Matriz de apoyo para la toma de decisiones) presenta una idea o punto de partida de la conveniencia y tipo de tecnología potencial para

contextos específicos, y los varios aspectos que los responsables en la toma de decisiones deben considerar en las pláticas de concesión y contratación con los proveedores de tecnologías WtE. La matriz (Anexo A) consiste en 12 parámetros esenciales que habrá que considerar en el contexto local o nacional para iniciar un proyecto de aprovechamiento energético de residuos, Así:

1. Nivel general de gestión de residuos
2. Composición de los residuos
3. Poder calorífico del RSU para procesos térmicos, contenido orgánico
4. Cantidad idónea de residuos para el aprovechamiento energético
5. Operación eficiente de instalaciones de gestión de residuos
6. Tiempos y distancias adicionales de transporte de RSU a las plantas de aprovechamiento energético de residuos
7. Comercialización, disposición y/o eliminación final de los residuos del proceso
8. Marco legal y requisitos ambientales para el aprovechamiento energético de residuos
9. Financiamiento de la gestión de RSU
10. Acceso a divisas extranjeras
11. Acceso de los usuarios finales a la energía obtenida del aprovechamiento de residuos o CDR
12. Incentivos para una generación de energía baja en emisiones de carbono

Respecto del objetivo específico #2 de Valorar las condiciones actuales de la ciudad de Medellín para la implementación de plantas “Waste to Energy se evidencia la necesidad y co-dependencia de las políticas públicas en cuanto a gestión de residuos sólidos, siendo

prerrequisito una nueva política pública que permita la ejecución y desarrollo de estas iniciativas dando no solo lugar a oferentes foráneos sino la probabilidad de ejecución del proyecto mismo con economías mixtas, es decir recursos de origen tanto públicos como privados entendiendo que los factores que impulsan el mercado incluyen iniciativas y esfuerzos gubernamentales como privadas o mixtas para reducir los vertederos, la quema abierta de residuos, y naturalmente la generación de energía con RSU como insumo combustible en la actual caracterización del mismo como energías limpias renovables en las economías desarrolladas y emergentes de todo el mundo como ejemplo para Medellín.

En relación al objetivo específico #3 para estructurar elementos de adopción y actividades específicas y consolidar una planta WtE en Medellín debe tenerse en cuenta el alto costo de capital y operación de las plantas de conversión de residuos en energía y el requisito de personal calificado para operar y mantener las tecnologías sofisticadas pueden actuar como una restricción para el crecimiento del mercado en el futuro, no obstante la metodología de asociación público privada es el mecanismo viable, seguro y directo por el cual puede materializarse la implementación de esta tecnología de reconversión de desechos sólidos en energía.

4.1. Recomendaciones

Los aspectos que se podrían realizar en un futuro para emprender investigaciones similares o fortalecer la investigación en esta temática debería involucrar actores externos como entidades gubernamentales relacionadas con la gestión de residuos sólidos, entes descentralizados como administradores de servicios públicos en términos de energía, empresas productoras de energía y trascender de Modalidad de trabajo Profundización a modalidad de investigación aplicada contemplando la viabilidad de aplicar estas tecnologías en nuestra contexto con nuestra realidad cultural, administrativa y de gestión presupuestal

para ello desde la municipalidad e incluso desde el contexto nacional sea bajo la figura asociación público-privada o con 100% de inversión propia.

Desde el ámbito político sea a nivel estatal o local es pertinente Crear la estructura institucional adecuada para una gestión eficaz de los residuos, Si bien los entes territoriales y las secretarías de ambiente, aseo e infraestructura trabajan mancomunadamente para una gestión de RSU, la evidencia técnica muestra que el manejo tradicional de residuos con disposición en vertedero no solo es un despilfarro de recursos públicos sino una amenaza a la salud pública en el mediano plazo.

Aunque las Políticas, el sistema planificación y los marcos legales para lograr los objetivos urbanos y nacionales de residuos sólidos sólidos han dado un manejo oportuno en términos de tasas de aseo, sitios de disposición, recolección y reciclaje; es estrictamente necesario acompañamiento para financiamiento en proyectos a gran escala de plantas WtE y poder asegurar la inversión y proporcionar incentivos para el cambio de un manejo tradicional de los residuos con disposición en vertedero a un manejo moderno, eficaz de termovalorización de RSU con plantas WtE integradas a los sistemas urbanos de manejo de residuos.

Se Requiere diseñar modelos organizativos que incluyan el sector reciclaje, la industria, las plazas metropolitanas de mercado, para una la prestación de servicios en un contexto local que incluya a las partes interesadas (Sector energía, oferentes privados, usuarios) y al sector informal de reciclaje en la planificación y la prestación de servicios desde la recolección, clasificación, disposición, hasta la comercialización tanto de productos recuperados como de energía generada a partir de RSU; pero sobre todo que estas partes

involucradas (usuarios, empresarios, inversores , gobierno) participen en la creación de Instrumentos de política pública para avanzar en la jerarquía de residuos y hacia una economía circular con adopción, masificación y uso de tecnologías WtE como componente adicional en los Sistemas integrales de manejo y disposición de residuos sólidos urbanos.

Es evidente la necesidad de establecer un marco institucional, normativo y legislativo general para el sector de la gestión de residuos desde el ámbito nacional con una visión y una filosofía sistémica para la apropiación de las tecnologías WtE, no solo en el sentido de solucionar el impacto del manejo tradicional de los residuos sino como una política de estado que propende el uso de recursos energéticos no tradicionales que pueden ser integrados a los sistemas integrales de aseo y a la vez suministrar energía eléctrica a la maya interconectada nacional, satisfaciendo dos necesidades a partir de una solución tecnológica como lo es las plantas WtE.

Es imperativamente y urgente una aumento de una inversión significativamente mayor, no solo para aumentar programas de apoyo a la gestión de residuos o para aumentar la capacidad de recolección, eliminación y tratamiento de desechos sino para implementar Sistemas integrales con adopción de tecnologías patentadas, ambientalmente sostenibles e ingenierilmente masificadas a escala mundial para cubrir la creciente generación de desechos, satisfacer la también creciente demanda energética a través de plantas WtE.

Referencias

- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29, 2707-2716.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- AlQattan, N. A. (2018). Reviewing the potential of Waste-to-Energy (WTE) technologies for Sustainable Development Goal (SDG) numbers seven and eleven. *Renewable Energy Focus*, 97–110.
- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625-639. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA . (s.f). *Permiso de Emisiones Atmosféricas para Fuentes Fijas*. Retrieved from <http://portal.anla.gov.co/permiso-emisiones-atmosfericas-fuentes-fijas>
- Biblioteca de Ingeniería Universidad de Sevilla. (2016). *Evolución histórica de los residuos sólidos urbanos y su tratamiento*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70752/fichero/1-+Antecedentes.pdf>
- Birch, E. L. (2014). A Review of "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability" and "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change" Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014).(Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). New York, NY: Cambridge University Press. 2,621 pages. Available online at <http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/final-drafts/>; Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014).
- Bluevision. (s.f). *Brazil's 1st waste-generated energy plant will be in Paraná*. Retrieved from <https://bluevisionbraskem.com/en/innovation/brazils-1st-waste-generated-energy-plant-will-be-in-parana/>
- Bunge, M. (1995). *Sistemas sociales y filosofía* (No. 04; Q175, B8.). Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

- Cabrejo Amórtegui, Á. P. (2018). *Educación ambiental para el manejo de los residuos sólidos*. Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16121/2018angelacabrejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calva-Alejo, C. L., & Rojas-Caldelas, R. I. (2014). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable*. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v25n3/art09.pdf>
- Callon, M., Courtial, J.P. y Penan, H. (1995). *Cienciometría*. Gijón: Ediciones Trea.
- Campani, D., Tello Espinoza, P., & Sarafian, D. R. (2018). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos*. Retrieved from <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Carbonell Martínez, A. (2019). Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva al servicio de la innovación. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(4), 61-69. Retrieved from: <http://doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n4e32.61-69>
- Carabin, P., & Holcroft, G. (2005). *Plasma Resource Recovery Technology: Converting Waste to Energy and Valuable Products*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266174867_Plasma_Resource_Recovery_Technology_Converting_Waste_to_Energy_and_Valuable_Products
- Centeno, F. (2019). *Energía sostenible es la apuesta que tiene Medellín*. Retrieved from <https://www.acimedellin.org/energia-sostenible-es-la-apuesta-que-tiene-medellin/>
- Chulok, A. (2021). Bioeconomy in the Twenty-First Century: Global Trends Analysis Perspective. In *Bio# Futures* (pp. 563-580). Springer, Cham.
- Corporación Ruta N (2016). Observatorio CT+i: Informe No. 1 rea de oportunidad Waste-to-Energy – Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado desde www.brainbookn.com
- Correa Orozco, L. M., Alvarez Posada, G. A., & Matos Fernandez, Y. (2021). Rellenos sanitarios en Colombia, ¿una solución o un problema?.
- EAI. (s.f). India Waste to Energy. Retrieved from <http://www.eai.in/ref/ae/WtE/WtE.html>

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Escorcía Otálora, T. A. (2008). Análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado.

European Commission (2006). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration, July 2005, Seville, Spain, eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

IEA. Energy technology roadmaps, a guide to development and implementation. Paris: International Energy Agency (IEA); 2010. Available from: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap_web.pdf.

International Energy Agency. (2014). Energy Technology Roadmaps: A Guide to Development and Implementation. IEA.

Jaramillo, L., Rodríguez, J., & Lozano, W. (2015). REVISTA ACODAL. Revista Acodal, 64

García, S. S., & Moñux, F. G. (2006). *Centrales térmicas de ciclo combinado: teoría y proyecto*. Ediciones Díaz de Santos.

García, M. G. V., Sánchez, U. I. B., & Borja, F. C. (2019). Modelo de red neuronal para la predicción del poder calorífico (HHV) a partir del análisis proximal de residuos carbonosos. *Conciencia Tecnológica*, (58), 40-46.

Gestión y Control Territorial Municipio de Medellín. (2015). *Plan de gestión integral sólidos cumplimiento a la 25 de noviembre del 2014*. Medellín.

Giugliano, M., & Ranzi, E. (2016). Thermal Treatments of Waste. Waste to Energy (WtE). *Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. doi:10.1016/B978-0-12-409547-2.11523-9

Goddard, H. C. (1995). *The benefits and costs of alternative solid waste management policies*. doi:[https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)00021-V](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)00021-V)

González, Y. M. P., & Roncancio, J. D. R. (2019). Enseñanza de la Física Basada en el Fenómeno del Rayo Eléctrico. *Revista Científica*, 302-321.

Grajales López, C. A., Zарtha Sossa, J. W., Hernández Zарta, R., Rodrigo, E. R., Guarnizo Gómez, C. A., Humberto, D. U., . . . Valencia Grisales, L. (2017). Vigilancia Tecnológica y Curvas en 'S': Tecnologías Ambientales en el Turismo, Quindío

- innova. *Espacios*. Retrieved from <https://www.revistaespacios.com/a17v38n32/17383208.html>
- Hollis Miet, P. C. (2014). *Energy from Waste & Biomass Fuels*. Bloomington: Author House.
- Huhtala, A. (1997). A Post-consumer Waste Management Model for Determining Optimal Levels of Recycling and Landfilling. *Environmental and Resource Economics*, 10, 301-314.
- ICEX. (2019). *El mercado de la gestión de residuos en China*. Retrieved from https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/odiw/~edisp/doc2019820119.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=03-05-2019&utm_campaign=Estudio%20de%20mercado.%20El%20mercado%20de%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20e
- Imran Khan, Zobaidul Kabir. (2020) Waste-to-energy generation technologies and the developing economies: A multi-criteria analysis for sustainability assessment, *Renewable Energy*, Volume 150, Pages 320-333, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132>.
- Inzunza, B. (2012). *Física: introducción a la mecánica y calor*.
- Jacobs, T. L., & Everett, J. W. (1992). Optimal Scheduling of Consecutive Landfill , Operations with Recycling. *Journal of Environmental Engineering*, 118, 420-429.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018, 09 20). *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Keeler, A. G., & Renkow, M. (1994). Haul Trash or Haul Ash: Energy Recovery as a Component of Local Solid Waste Management. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 205-217.
- Klein, A., & Themelis, N. J. (2003). *Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification*. Retrieved from <http://www.seas.columbia.edu/earth/WtErt/sofos/NAWTEC-gasification-klein.pdf>
- Lapčík, V., & Lapčíková, M. (2012). Possibilities of Energy Recovery from Municipal Waste/ Možnosti Energetického Využití Komunálního Odpadu. *GeoScience Engineering*.

- Lee, S. Y., Alam, M. T., Han, G. H., Choi, D. H., & Park, S. W. (2020). Gasification Applicability of Korean Municipal Waste Derived Solid Fuel: A Comparative Study. *Processes*, 8(11), 1375.
- Lewis, H. (2007). *Centenary History of Waste and Waste Managers in London and South East England*. Retrieved from <https://www.ciwm.co.uk/Custom/BSIDocumentSelector/Pages/DocumentViewer.aspx?id=QoR7FzWBtitMKLGdXnS8mUgJfkM0vi6KMAYwUqgqau3ztZeoed%252bsdmKlqDzPOm8yAXgBZR%252fn1fYhL%252bTNdjUq9g2xwY63C2g8GcAQYyfpf3SImlrrED%252bTfsUM91bKsogr>
- Lund, J. R. (1990). Least-Cost Scheduling of Solid Waste Recycling. *Journal of Environmental Engineering*, 116, 182-197.
- Machrafi, H. (2012). *Green Energy and Technology*. Springer-Verlag. doi:<https://doi.org/10.2174/97816080528511120101>
- Melo Mina, C. I. (2013). *Análisis de viabilidad económica y financiera de una planta de tratamiento de residuos sólidos en el*. Retrieved from <http://repository.ean.edu.co/bitstream/10882/4664/1/MeloCesar2013.pdf>
- Miguel Angel Gonzalez-Salazar, Mauro Venturini, Witold-Roger Poganietz, Matthias Finkenrath, Trevor Kirsten, Helmer Acevedo, Pier Ruggero Spina, *Development of a technology roadmap for bioenergy exploitation including biofuels, waste-to-energy and power generation & CHP, Applied Energy, Volume 180, 2016, Pages 338-352, ISSN 0306-2619, Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.120.*
- Montiel-Bohórquez, N. D., & Pérez, J. F. (2019, 02). Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas. *Información tecnológica*, 30(1). Retrieved from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000100273&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Mukherjee, A., Debnath, B., & Ghosh, S. K. (2016). A Review on Technologies of Removal of Dioxins and Furans from Incinerator Flue Gas. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 528-540

- Municipio de Medellín. (2015). *Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) del municipio de Medellín dando cumplimiento a la Resolución 0754 del 25 de noviembre del 2014*. Retrieved from https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/AtencinCiudadana1/ProgramasyProyectos/Shared%20Content/Documentos/2015/DOCUMENTOACTUALIZACIONPGIRS%20MEDELL%C3%8DNPARACONSULTA.pdf
- Municipio de Medellín. (s.f). *Formulario gaceta oficial - módulo de consulta*. Retrieved from <https://www.medellin.gov.co/mercurio/IndiceServlet>
- Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C., & Gross, T. (2017, 05). *Opciones para el aprovechamiento energético de residuos en la gestión de residuos sólidos urbanos*. Retrieved from <https://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/02/Guia-GIZ-2017-WasteToEnergy-SP.pdf>
- Navarro, M. M., & Suárez, P. L. R. (2020). La vigilancia estratégica en las entidades de ciencia, tecnología e innovación. *Ciencias de la Información*, 50(2), 35-40.
- Nchofoung, T. N., Fotio, H. K., & Miamo, C. W. (2023). Green taxation and renewable energy technologies adoption: A global evidence. *Renewable Energy Focus*, 44, 334-343
- Singh, R. P., Prasad, V., & Vaish, B. (Eds.). (2019). *Advances in Waste-to-energy Technologies*. CRC Press.
- Official Journal of the European Union. (2008, 11 22). *COMMISSION REGULATION (EC) No 1161/2008*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2008:312:FULL&from=EN>
- OVTT, Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología de la Universidad de Alicante 2020. Retrieved from <https://www.ovtt.org/guias/guia-de-inteligencia-tecnologica/>
- Panda, A., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products--A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233-248.
- Pérez-Serrano, M. S. M. (2021). Ciencia y Medio Ambiente. *Ciencia y Medio Ambiente*, 17.

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- Perdigón, L. A. R. (2014). *Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos–FORSU* (Bachelor's thesis, Universidad EAN).
- Presidencia de la República. (2002). *DECRETO 1713 DE 2002*. Retrieved from <http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2002decreto1713.pdf>
- Psomopoulos, C. S., Bourka, A., & Themelis, N. J. (2009). Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, 29(5), 1718-1724.
- Posada, E. (2018). EL ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO EN PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE DESECHOS SÓLIDOS (WTE) EN COLOMBIA.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations*. New York: Free press. Retrieved from <https://teddykw2.files.wordpress.com/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf>
- ROJAS, A. E. M. (2016). Caracterización del proceso de conversión de residuos plásticos en combustible por medio de pirólisis. Retrieved from <http://148.214.84.21/bitstream/20.500.12059/116/1/387385.pdf>
- Sáez, A., & Urdaneta G., J. A. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Scarlat N., Fah I., F. Dallemand J. (2019) Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe
- Semarnat: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México 2017, Aprovechamiento Del Poder Calorífico De Los Residuos Sólidos Urbanos Para La Generación De Energía Eléctrica. Pag. 2. Retrieved from <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/mex/resumenes/2017/15EM201710096.pdf>
- Šomplák, R., Ucekaj, V., Pavlas, M., & Popela, P. (2012). *Waste-to-Energy Facility Planning Supported by Stochasting Programming - Part I Introduction*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/278111686_Waste-to-Energy_Facility_Planning_Supported_by_Stochasting_Programming_-_Part_I_Introduction

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

- Subsecretaría de Servicios Públicos y Secretaría de Gestión y Control Territorial. (2017). *Seguimiento Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Medellín 2016-2027*. Retrieved from <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/MedioAmbiente/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/SeguimientoPlanGestionIntegralResiduosSolidosMunicipioMedell%C3%ADn2016.pdf>
- T. de Römph; L.S. Reins; "Waste-to-Energy and the Circular Economy - Connecting the Dots" Retrieved from OGEL 3 (2016), www.ogel.org, URL: www.ogel.org/article.asp?key=3623
- Tello Espinoza, P., Martínez Arce, E., Daza, D., Soulier Faure, M., & Terraza, H. (2010). *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010* . Retrieved from <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>
- The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. (2016). Technical Paper BR-1935 . World-Class Technology for the Newest Waste-to-Energy Plant in the United States — Palm Beach Renewable Energy Facility No. 2
- U.S. Department of Energy. (2019, 08). *Waste-to-Energy from Municipal Solid Wastes*. Retrieved from <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/08/f66/BETO--Waste-to-Energy-Report-August--2019.pdf>
- U.S. EPA. Environmental Protection Agency (2016) Energy Recovery from Waste . Retrieved from <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/index-11.html>
- Vamos, M. C. (2019). Informe de indicadores objetivos sobre la calidad de vida en Medellín, 2016-2019.
- Verisk Maplecroft. (2019). *Waste Generation and Recycling Indices 2019*. Retrieved from : <https://www.maplecroft.com/thank-you/thank-you-waste-management/>
- World Bioenergy Association(2018):WBA Global Bioenergy Statistics 2018 from: https://worldbioenergy.org/uploads/181203%20WBA%20GBS%202018_hq.pdf



Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Yu, K., & van Son, P. (2023). Review of trans-Mediterranean power grid interconnection: A regional roadmap towards energy sector decarbonization. *Global Energy Interconnection*, 6(1), 115-126.

5. Anexos

Anexo A. Matriz de apoyo para la toma de decisiones

La matriz consiste en 12 parámetros esenciales que habrá que considerar en el contexto local al arrancar un proyecto de aprovechamiento energético de residuos, mismos que son: 1.Nivel general de gestión de residuos, 2.Composición de los residuos, 3.Poder calorífico del RSU para procesos térmicos, contenido orgánico, 4.Cantidad idónea de residuos para el aprovechamiento energético, 5.Operación eficiente de instalaciones de gestión de residuos, 6.Tiempos y distancias adicionales de transporte de RSU a las plantas de aprovechamiento energético de residuos, 7.Comercialización, disposición y/o eliminación final de los residuos del proceso, 8.Marco legal y requisitos ambientales para el aprovechamiento energético de residuos, 9.Financiamiento de la gestión de RSU, 10.Acceso a divisas extranjeras, 11.Acceso de los usuarios finales a la energía obtenida del aprovechamiento de residuos o CDR y 12. Incentivos para una generación de energía baja en emisiones de carbono.

1. Nivel general de gestión de residuos

1	Existe un sistema avanzado de gestión de residuos basado en el flujo de los residuos (ej. biomasa, residuos peligrosos, reciclables).	Recolección sistemática organizada de residuos. Algunas fracciones de residuos (como llantas, reciclables, biomasa) se envían para reciclado y composta.	Existe recolección sistemática y disposición final en rellenos sanitarios. El reciclado no está organizado en forma sistemática.	Ausencia de recolección sistemática, reciclado y disposición final o eliminación de residuos.
	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

2. Composición de los residuos

2	Fracciones orgánicas y no orgánicas se recolectan por separado. Los residuos peligrosos y los residuos voluminosos minerales reciben tratamiento por separado	Los RSU o fracciones de residuos recolectados por separado a veces se mezclan con pequeñas fracciones de residuos minerales y peligrosos	Los RSU se mezclan en forma regular con fracciones de residuos minerales o peligrosos	Los RSU se mezclan con grandes cantidades de residuos minerales y peligrosos
	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

3. Poder calorífico del RSU para procesos térmicos, contenido orgánico

3	El poder calorífico del RSU es en promedio > 8 MJ/kg.	El poder calorífico del RSU está entre 7 y 8 MJ/kg en promedio.	El poder calorífico del RSU es < 7 MJ/kg. Alto contenido de biomasa con alto contenido promedio de humedad.	El poder calorífico del RSU es < 7 MJ/kg. El contenido de fracciones inorgánicas (como ceniza, polvo, arena, vidrio, metales) es alto.
	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia

	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

4. Cantidades apropiadas de residuos para el aprovechamiento energético

	> 150,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos disponibles al año	50,000 a 150,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año	10,000 a 50,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año	< 10,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año
4	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

5. Operación eficiente de instalaciones de gestión de residuos

5	Los actores públicos y privados tienen experiencia en la gestión eficiente de instalaciones para el manejo de residuos, y en temas de cooperación	Los actores públicos y privados tienen experiencia, pero requieren el desarrollo de capacidades para poder gestionar instalaciones de aprovechamiento energético de residuos en forma eficiente	Los actores públicos tienen experiencia limitada en el aprovechamiento energético de residuos y el personal nacional calificado es difícil tanto para el sector público como para el privado	Ni los actores públicos ni los privados tienen experiencia en la operación de sistemas de aprovechamiento energético de residuos.
---	---	---	--	---

	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

6. Tiempos y distancias de transporte adicionales de los RSU a plantas de aprovechamiento energético de residuos

	La distancia o tiempo de transporte casi no cambiará con respecto a la situación actual.	El tiempo de transporte incrementará < 1 hora, y la distancia adicional será < 50 km.	El tiempo de transporte incrementará >1 hora. La distancia de transporte adicionales será > 100 km.	La distancia de transporte adicional será > 200 km y no se dispone de transporte por ferrocarril.
6	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

7. Comercialización y/o disposición final de los residuos del proceso

7	Existe un mercado para los residuos del proceso. Los residuos peligrosos se pueden disponer en forma segura en un relleno sanitario o confinamiento	No hay mercado para los residuos del proceso. Todos los residuos del proceso se pueden disponer en forma segura en un relleno sanitario	No hay mercado para los residuos del proceso. La disposición o eliminación segura requiere transporte a grandes distancias.	No hay mercado para los residuos del proceso y no se cuenta con disposición o eliminación segura para los residuos del proceso.
---	---	---	---	---

	controlado cercano a la planta de aprovechamiento energético.	controlado cercano a la planta.		
	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

8. Marco legal y requisitos ambientales para el aprovechamiento energético de residuos

	Existe un marco legal integral que considera todo tipo de aprovechamiento energético de residuos. Las leyes se aplican y la estrategia nacional para la gestión de residuos también cubre el aprovechamiento energético de residuos.	Existe un marco legal nacional para el aprovechamiento energético de residuos. Todas las deficiencias a nivel cumplimiento, ordenanzas y estatutos son atendidos.	El marco legal nacional para el aprovechamiento energético de residuos es parcialmente existente o inexistente. El cumplimiento de normas internacionales se puede asegurar en proyectos específicos.	El marco legal existente prohíbe el aprovechamiento térmico de residuos, o bien existen indicios de que no se pueden hacer cumplir debidamente los estándares de emisiones.
8	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

9. Financiamiento de la gestión de RSU

	Los costos de recolección y eliminación de RSU siempre están cubiertos en su totalidad. Existen medios financieros accesibles para cubrir los costos adicionales del aprovechamiento energético de residuos.	Los costos de recolección y eliminación de RSU siempre están cubiertos en su totalidad. Puede haber dificultades para cubrir los costos adicionales del aprovechamiento energético de residuos.	Los costos de recolección y eliminación de RSU no se pueden cubrir en forma regular.	A menudo existe una falta de medios financieros para cubrir los costos operativos de los servicios de RSU.
9	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

10 . Acceso a refacciones y divisas extranjeras

	Las refacciones se pueden adquirir en forma local. No existe restricción sobre la compra de refacciones en divisas extranjeras.	La mayoría de las refacciones se pueden comprar en forma local. Existen oficinas locales para la venta de refacciones de importación.	La tecnología clave de la planta de aprovechamiento energético de residuos debe ser importada. Demoras en el acceso a compras en divisas extranjeras.	No hay acceso a divisas extranjeras
10	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia

	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

11. Acceso de los usuarios finales a la energía obtenida del aprovechamiento de residuos o combustible derivado de residuos (CDR)

	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en la cercanía de un área industrial con demanda eléctrica y de calor/gas. Existe una buena infraestructura de transporte y energía.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en un área con demanda térmica moderada. Existe una buena infraestructura de transporte y energía.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican cerca de una importante red de transmisión. No hay demanda térmica en el área.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en un área mal conectada a los consumidores de energía.
11	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

12. Incentivos para una generación de energía baja en emisiones de carbono

12	Ya se están aplicando incentivos económicos con éxito a la generación termoeléctrica baja	Los incentivos económicos para la generación de electricidad baja en emisiones de carbono a partir de residuos están	Los incentivos económicos probablemente se introducirán en menos de un año.	No existen incentivos económicos.
----	---	--	---	-----------------------------------

Plan de adopción tecnológica de una planta “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

	en emisiones de carbono.	regulados, pero no se han aplicado.		
	Incineración	Incineración	Incineración	Incineración
	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento	Coprocesamiento
	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia	Digestión anaerobia
	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario	Recolección de gas de relleno sanitario
	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación	Pirólisis y gasificación

Nota: Los parámetros fueron tomados de la guía del Banco Mundial para los responsables de la toma de decisiones: The World Bank, “Municipal Solid Waste Incineration,” The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C., 1999.

Anexo B. Cómo usar la matriz de decisiones

Para cada uno de los 12 parámetros arriba enumerados, se deberán evaluar sus condiciones locales de acuerdo con las opciones ofrecidas en forma horizontal de lado izquierdo (altamente avanzado) de lado derecho (fuertemente subdesarrollado) en la matriz. La tecnología más conveniente de aprovechamiento energético se identifica mediante diferentes colores para cada una de las condiciones locales en la lista horizontal:

VERDE	AMARILLO	ROJO
La tecnología de aprovechamiento energético es muy probablemente la adecuada.	Se requiere mayor información y/o mejoras a las condiciones locales para una planeación específica, y la implementación exitosa de un proyecto de aprovechamiento energético.	La tecnología de aprovechamiento energético no es la adecuada. Se recomienda mejorar o modificar las condiciones locales o seleccionar otra tecnología diferente.

La aplicación de la matriz permite a los usuarios construir una primera evaluación transparente de las opciones realistas para el aprovechamiento energético de residuos en el futuro cercano. Ofrece un panorama de las condiciones previas que deben cumplirse en la región objetivo del proyecto y de las brechas de información, para una evaluación más integral.

Después de la evaluación de los doce parámetros, el lector tendrá una percepción apropiada de cada una de las tecnologías para sus condiciones locales. Como orientación, el número de campos en verde, amarillo y rojo para cada tecnología de aprovechamiento energético de residuos se puede interpretar de la siguiente forma:

Totales de la matriz	¿Es la tecnología adecuada para mi contexto?
<ul style="list-style-type: none"> • Nueve o más campos en verde • El resto en amarillo 	<p>En principio, la tecnología parece ser aplicable. No obstante, los parámetros en amarillo deberán ser investigados en mayor detalle y se deberán implementar mejoras</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Menos de nueve campos en verde • El resto en amarillo 	<p>La tecnología podría ser adecuada pero las condiciones actuales aún no favorecen su aplicación. Los responsables de la toma de decisiones deberán evaluar las condiciones existentes en mayor detalle antes de iniciar un proyecto de aprovechamiento, o bien enfocarse en una tecnología que tenga más campos en verde.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Uno o más campos en rojo 	<p>CRITERIO DE ELIMINACIÓN: existen varias deficiencias para la aplicación de esta tecnología. Todas las condiciones en rojo deberán mejorarse antes de iniciar un proyecto con esta tecnología, o bien seleccionar una tecnología que sólo tenga campos en amarillo o verde.</p>

Nota: Los parámetros fueron tomados de la guía del Banco Mundial para los responsables de la toma de decisiones: The World Bank, “Municipal Solid Waste Incineration,” The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C., 1999.

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Filtro de búsqueda Scopus (17000 datos)

TITLE-ABS-KEY (waste AND energy OR management OR technology AND energy) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Bioresource Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Cleaner Production") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Water Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Hydrogen Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Applied Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Conversion And Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Procedia") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Science Of The Total Environment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Renewable And Sustainable Energy Reviews") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Applied Thermal Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Advanced Materials Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Resource Conservation And Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Chemical Engineering Transactions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energies") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Management And Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "SAE Technical Papers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Biomass And Bioenergy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Fuel") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Technology United Kingdom") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Sustainability Switzerland") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Applied Mechanics And Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy And Fuels") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Construction And Building Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy And Buildings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Chemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Multidisciplinary Scientific Geoscience Surveying Geology And Mining Ecology Management Spem") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Energy Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Industrial And Engineering Chemistry Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "European Biomass Conference And Exhibition Proceedings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste And Biomass Valorization") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of The Air And Waste Management Association") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "ACS Sustainable Chemistry And Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Chemical Technology And Biotechnology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Transactions On Ecology And The Environment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Sources Part A Recovery Utilization And Environmental Effects") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Biocycle") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of The Interindustry Energy Conversion Engineering Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Fuel Processing Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition Proceedings Intex") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Procedia Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "American Society Of Mechanical Engineers Paper") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Materials Science Forum") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Huanjue Kexue Environmental Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Radiowaste Solutions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Key Engineering Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Clean Technologies And Environmental Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of The Air And Waste Management Association 5 Annual Conference And Exhibition Awma") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Power Sources") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Engineering Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Natures") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Green Energy And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Material Cycles And Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "American Society Of Mechanical Engineers Power Division Publication Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Chemical Engineer") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Industrial Ecology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of The Energy Institute") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Biochemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Progress And Sustainable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Scientific Reports") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Environmental Chemical Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Green Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Separation And Purification Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Refrigeration") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of National Waste Processing Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Monitoring And Assessment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Paper American Society Of Agricultural Engineers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Symposium Papers Energy From Biomass And Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Industrial Crops And Products") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Age") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Process Safety And Environmental Protection") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Refrigeration Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Air And Waste Management Association 7th Power Plant Air Pollutant Control Mega Symposium 2005") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Environmental Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Electronic Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Separation Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Engineering Journal Of The Association Of Energy Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Engineering And Management Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Applied Engineering Research")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "tr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bx") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bz")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENV") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "BUSP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "SDCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ECON") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MULT")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Chinese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "German") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "French") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Japanese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Russian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Spanish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Polish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Italian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Dutch") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Korean") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Croatian"))

Activar
Ve a Config

Anexo C. Texto de ecuación de búsqueda general filtrada

Texto de ecuación de búsqueda general filtrada (7000 datos)
<p>TITLE-ABS-KEY (waste AND energy OR management OR technology AND energy) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Bioresource Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Cleaner Production") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Water Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Hydrogen Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Conversion And Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Procedia") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Science Of The Total Environment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Renewable And Sustainable Energy Reviews") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Thermal Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Advanced Materials Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Resources Conservation And Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Chemical Engineering Transactions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energies") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Management And Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "SAE Technical Papers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Biomass And Bioenergy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Fuel") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Technology United Kingdom") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Sustainability Switzerland") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Mechanics And Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy And Fuels") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Construction And Building Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy And Buildings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Chemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology And Mining Ecology Management Sgem") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Energy Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Industrial And Engineering Chemistry Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "European Biomass Conference And Exhibition Proceedings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste And Biomass Valorization") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of The Air And Waste Management Association") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "ACS Sustainable Chemistry And Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Chemical Technology And Biotechnology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Wit Transactions On Ecology And The Environment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Sources Part A Recovery Utilization And Environmental Effects") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Biocycle") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of The Intersociety Energy Conversion Engineering Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Fuel Processing Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition Proceedings Imece") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Procedia Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "American Society Of Mechanical Engineers Paper") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Materials Science Forum") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Huanjing Kexue Environmental Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Radwaste Solutions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Key Engineering Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Clean Technologies And Environmental Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of The Air And Waste Management Association 5 Annual Conference And Exhibition Awma") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Power Sources") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Engineering Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Nature") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Green Energy And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Material Cycles And Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "American Society Of Mechanical Engineers Power Division Publication Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Chemical Engineer") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Industrial Ecology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of The Energy Institute") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Science") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Biochemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Progress And Sustainable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Scientific Reports") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Environmental Chemical Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Green Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Separation And Purification Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Refrigeration") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of National Waste Processing Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Monitoring And Assessment") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Paper American Society Of Agricultural Engineers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Symposium Papers Energy From Biomass And Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Industrial Crops And Products") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Age") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Process Safety And Environmental Protection") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Refrigeration Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Air And Waste Management Association 7th Power Plant Air Pollutant Control Mega Symposium 2008") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Environmental Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Electronic Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Separation Science And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Engineering Journal Of The Association Of Energy Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Engineering And Management Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Applied Engineering Research")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bk") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bz")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "SOCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ECON") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MULT")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Chinese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "German") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "French") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Japanese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Russian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Polish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Italian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Dutch") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Korean") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Croatian"))</p>

Plan de adopción tecnológica de una planta "Waste to Energy" como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

Anexo D. Ecuación de búsqueda depurada

TITLE-ABS-KEY (waste AND energy OR management OR technology AND energy) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Applied Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Conversion And Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Renewable And Sustainable Energy Review") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Applied Thermal Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Resources Conservation And Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Management And Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "SAE Technical Papers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Environmental Technology United Kingdom") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Sustainability Switzerland") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy And Buildings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Chemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "International Journal Of Energy Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "European Biomass Conference And Exhibition Proceedings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of The Air And Waste Management Association") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Energy Sources Part A Recovery Utilization And Environmental Effects") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of The ASME Turbo Expo") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition Proceedings Imecol") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "American Society Of Mechanical Engineers Paper") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Radwaste Solutions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Key Engineering Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Clean Technologies And Environmental Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of The Air And Waste Management Association 5 Annual Conference And Exhibition Aema5") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Green Energy And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "American Society Of Mechanical Engineers Power Division Publication Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Chemical Engineer") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Green Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Separation And Purification Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Proceedings Of National Waste Processing Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Symposium Papers Energy From Biomass And Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE, "Waste Age")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "rs") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "dr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "br") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bz")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "BIOS") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ECON")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Article") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Heat") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Priority Journal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Utilization") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Biomass") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Disposal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Carbon Dioxide") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Conservation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Conversion") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Treatment") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Heat Utilization") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Environmental Impact") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Incineration") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Temperature") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Municipal Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Combustion") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Consumption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Producers") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Fuels") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Renewable Energy Resources") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Thermodynamic") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Heating") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Agricultural Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Recovery") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Costs") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Electricity") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Gas Emissions") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Recovery") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Resour") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Economic") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Gasification") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Activation Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cryogen") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Degradation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Reaction Kinetics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Component Removal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Gases") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Ammonia") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Coal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Electric Power Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Power Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Catalysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "United States") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Concentration (composition)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Cost Effectiveness") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Concentration (parameters)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Chemical Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Economic Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Land Fill") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Electricity Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Methodology") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Exergy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Resources") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Solid Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Waste Utilization")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Chinese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "German") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "French") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Japanese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Russian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Spanish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Korean"))

Anexo E. Texto de ecuación de búsqueda depurada y filtrada

Texto de ecuación de búsqueda <i>depurada</i>
<p>TITLE-ABS-KEY (waste AND energy OR management OR technology AND energy) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Conversion And Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Renewable And Sustainable Energy Reviews") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Applied Thermal Engineering") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Resources Conservation And Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energies") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Management And Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "SAE Technical Papers") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Environmental Technology United Kingdom") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Sustainability Switzerland") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy And Buildings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Chemical Engineering Journal") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "International Journal Of Energy Research") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "European Biomass Conference And Exhibition Proceedings") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of The Air And Waste Management Association") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Energy Sources Part A Recovery Utilization And Environmental Effects") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of The ASME Turbo Expo") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition Proceedings Imece") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "American Society Of Mechanical Engineers Paper") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Radwaste Solutions") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Key Engineering Materials") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Clean Technologies And Environmental Policy") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of The Air And Waste Management Association 5 Annual Conference And Exhibition Awma") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Green Energy And Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "American Society Of Mechanical Engineers Power Division Publication Power") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Chemical Engineer") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Green Chemistry") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Separation And Purification Technology") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of National Waste Processing Conference") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Symposium Papers Energy From Biomass And Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Waste Age")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bk") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bz")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ECON")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Article") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Heat") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Priority Journal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Utilization") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Biomass") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Recycling") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Disposal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Carbon Dioxide") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Conservation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Conversion") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Treatment") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Heat Utilization") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Environmental Impact") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Incineration") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Temperature") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Municipal Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Combustion") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Consumption") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Procedures") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fuels") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Renewable Energy Resources") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Solid Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Life Cycle") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Pyrolysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Thermodynamics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Heating") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Agricultural Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Recovery") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Costs") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Electricity") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gas Emissions") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Recovery") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Resource") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Economics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gasification") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Activation Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Oxygen") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Degradation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Renewable Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Reaction Kinetics") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Component Removal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gases") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Ammonia") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Coal") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Solid Waste") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Environmental Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Renewable Energies") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Electric Power Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Power Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Catalysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Wastes") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "United States") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Concentration (composition)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cost Effectiveness") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Concentration (parameters)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Chemical Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Economic Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Land Fill") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Electricity Generation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Methodology") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Resources") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Policy") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Solid Waste Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Waste Utilization")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Chinese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "German") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "French") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Japanese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Russian") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Korean"))</p>

Anexo F. Matriz de decisiones en el contexto de Medellín y a la incineración mediante tecnología WtE

1. Nivel general de gestión de residuos

Existe un sistema avanzado de gestión de residuos basado en el flujo de los residuos (ej. biomasa, residuos peligrosos, reciclables).	Recolección sistemática organizada de residuos. Algunas fracciones de residuos (como llantas, reciclables, biomasa) se envían para reciclado y composta.	Existe recolección sistemática y disposición final en rellenos sanitarios. El reciclado no está organizado en forma sistemática.	Ausencia de recolección sistemática, reciclado y disposición final o eliminación de residuos.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

2. Composición de los residuos

Fracciones orgánicas y no orgánicas se recolectan por separado. Los residuos peligrosos y los residuos voluminosos minerales reciben tratamiento por separado	Los RSU o fracciones de residuos recolectados por separado a veces se mezclan con pequeñas fracciones de residuos minerales y peligrosos	Los RSU se mezclan en forma regular con fracciones de residuos minerales o peligrosos	Los RSU se mezclan con grandes cantidades de residuos minerales y peligrosos
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

3. Poder calorífico del RSU para procesos térmicos, contenido orgánico

El poder calorífico del RSU es en promedio > 8 MJ/kg.	El poder calorífico del RSU está entre 7 y 8 MJ/kg en promedio.	El poder calorífico del RSU es < 7 MJ/kg. Alto contenido de biomasa con alto contenido promedio de humedad.	El poder calorífico del RSU es < 7 MJ/kg. El contenido de fracciones inorgánicas (como ceniza, polvo, arena, vidrio, metales) es alto.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

4. Cantidades apropiadas de residuos para el aprovechamiento energético

> 150,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos disponibles al año	50,000 a 150,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año	10,000 a 50,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año	< 10,000 toneladas métricas de fracciones de residuos aptos al año
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

5. Operación eficiente de instalaciones de gestión de residuos

Los actores públicos y privados tienen experiencia en la gestión eficiente de instalaciones para el manejo de residuos, y en temas de cooperación	Los actores públicos y privados tienen experiencia, pero requieren el desarrollo de capacidades para poder gestionar instalaciones de aprovechamiento energético de residuos en forma eficiente	Los actores públicos tienen experiencia limitada en el aprovechamiento energético de residuos y el personal nacional calificado es difícil tanto para el sector público como para el privado	Ni los actores públicos ni los privados tienen experiencia en la operación de sistemas de aprovechamiento energético de residuos.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

6. Tiempos y distancias de transporte adicionales de los RSU a plantas de aprovechamiento energético de residuos

La distancia o tiempo de transporte casi no cambiará con respecto a la situación actual.	El tiempo de transporte incrementará < 1 hora, y la distancia adicional será < 50 km.	El tiempo de transporte incrementará >1 hora. La distancia de transporte adicionales será > 100 km.	La distancia de transporte adicional será > 200 km y no se dispone de transporte por ferrocarril.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

7. Comercialización y/o disposición final de los residuos del proceso

Existe un mercado para los residuos del proceso. Los residuos peligrosos se pueden disponer en forma segura en un relleno sanitario o confinamiento controlado cercano a la planta de aprovechamiento energético.	No hay mercado para los residuos del proceso. Todos los residuos del proceso se pueden disponer en forma segura en un relleno sanitario controlado cercano a la planta.	No hay mercado para los residuos del proceso. La disposición o eliminación segura requiere transporte a grandes distancias.	No hay mercado para los residuos del proceso y no se cuenta con disposición o eliminación segura para los residuos del proceso.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

8. Marco legal y requisitos ambientales para el aprovechamiento energético de residuos

Existe un marco legal integral que considera todo tipo de aprovechamiento energético de residuos. Las leyes se aplican y la estrategia nacional para la gestión de residuos también cubre el aprovechamiento energético de residuos.	Existe un marco legal nacional para el aprovechamiento energético de residuos. Todas las deficiencias a nivel cumplimiento, ordenanzas y estatutos son atendidos.	El marco legal nacional para el aprovechamiento energético de residuos es parcialmente existente o inexistente. El cumplimiento de normas internacionales se puede asegurar en proyectos específicos.	El marco legal existente prohíbe el aprovechamiento térmico de residuos, o bien existen indicios de que no se pueden hacer cumplir debidamente los estándares de emisiones.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

9. Financiamiento de la gestión de RSU

Los costos de recolección y eliminación de RSU siempre están cubiertos en su totalidad. Existen medios financieros accesibles para cubrir los costos adicionales del	Los costos de recolección y eliminación de RSU siempre están cubiertos en su totalidad. Puede haber dificultades para cubrir los costos adicionales del aprovechamiento energético de residuos.	Los costos de recolección y eliminación de RSU no se pueden cubrir en forma regular.	A menudo existe una falta de medios financieros para cubrir los costos operativos de los servicios de RSU.
--	---	--	--

aprovechamiento energético de residuos.			
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

11 . Acceso a refacciones y divisas extranjeras

Las refacciones se pueden adquirir en forma local. No existe restricción sobre la compra de refacciones en divisas extranjeras.	La mayoría de las refacciones se pueden comprar en forma local. Existen oficinas locales para la venta de refacciones de importación.	La tecnología clave de la planta de aprovechamiento energético de residuos debe ser importada. Demoras en el acceso a compras en divisas extranjeras.	No hay acceso a divisas extranjeras
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

13. Acceso de los usuarios finales a la energía obtenida del aprovechamiento de residuos o combustible derivado de residuos (CDR)

Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en la cercanía de un área industrial con demanda eléctrica y de calor/gas. Existe una buena infraestructura de transporte y energía.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en un área con demanda térmica moderada. Existe una buena infraestructura de transporte y energía.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican cerca de una importante red de transmisión. No hay demanda térmica en el área.	Las instalaciones de aprovechamiento energético o CDR se ubican en un área mal conectada a los consumidores de energía.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

14. Incentivos para una generación de energía baja en emisiones de carbono

Ya se están aplicando incentivos económicos con éxito a la generación termoeléctrica baja en emisiones de carbono.	Los incentivos económicos para la generación de electricidad baja en emisiones de carbono a partir de residuos están regulados, pero no se han aplicado.	Los incentivos económicos probablemente se introducirán en menos de un año.	No existen incentivos económicos.
Incineración	Incineración	Incineración	Incineración

Nota: Los parámetros fueron tomados de la guía del Banco Mundial para los responsables de la toma de decisiones: The World Bank, “Municipal Solid Waste Incineration,” The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C., 1999.