

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.



Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

Astrid Bibiana Sosa Gómez

Administración en Salud Ocupacional

Hilder Escobar Hernández

Ingeniero Ambiental

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Asesora

Diana Catalina Rodríguez Loaiza

Ph.D, Msc, Ingeniera Sanitaria

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

Cita	Sosa Gómez y Escobar Hernández [1]
Referencia	[1] A. B. Sosa Gómez y H. N. Escobar Hernández, “Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba”, Trabajo de grado especialización, Especialización en Gestión Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte XIII.

Grupo de Investigación Diagnóstico y Control de la Contaminación.

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Centro de documentación en Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Franciscos Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

Dedicatoria

A Dios por la vida, la salud y la sabiduría para llevar a feliz término los proyectos planeados y llenar de fortaleza los momentos difíciles.

A nuestras familias que desinteresadamente acompañaron este proceso como el motor para seguir luchando.

Agradecimientos

A todas las personas que se haya cruzado en el camino durante el tiempo que se planeó y ejecutó esta investigación.

A Diana Catalina Rodríguez Loaiza por su apoyo y dedicación como asesora de la monografía y a todos los docentes de la especialización.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
IV. OBJETIVOS	21
V. MARCO TEÓRICO.....	22
5.1. Residuos sólidos.	22
5.2. Clasificación de los residuos sólidos.....	22
5.3. Residuos sólidos urbanos o municipales (RSU).....	23
5.4. Disposición Final de residuos solidos	24
5.5. Gestión de los residuos solidos.....	25
5.6. Métodos y tratamientos para los residuos solidos	25
5.7. Economía circular.....	27
5.8. Definiciones de economía circular.	27
5.9. Principios de la economía circular.....	28
5.10. Normativa en Colombia sobre el manejo de los residuos sólidos.	29
5.11. Manejo de residuos sólidos en el Municipio de Tierralta	29
VI. ESTADO DEL ARTE.....	31
6.1. Residuos sólidos urbanos: una revisión crítica a nivel mundial.	31
6.2. Objetivos de Desarrollo sostenible.	32
6.3. Economía Circular a nivel mundial para el manejo de los residuos sólidos.	33
6.4. Breve panorama de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe.	34
6.5. Economía circular en América Latina.	35

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

VII. METODOLOGÍA.....	46
7.1. Breve descripción de Tierralta.	46
7.2. Localización de la zona de estudio.....	46
7.3. Metodología de la investigación	48
7.3.1. Fuentes empleadas	49
7.3.2. Criterios de búsqueda.....	50
VIII RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
8.1. Descripción de modelos actuales como alternativas de gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional, nacional y local, para conocer y aplicar en Tierralta-Córdoba.	52
8.1.1. Alternativas de gestión de los RSU, en los continentes de Asia, Oceanía y África.52	
8.1.1.1. Japón	52
8.1.1.2. Nueva Zelanda,	52
8.1.1.3. Marruecos	53
8.1.2. Alternativas de gestión de los RSU, en el continente europeo.....	54
8.1.2.1. Francia:	54
8.1.2.2. España	54
8.1.3. Alternativas de gestión de los RSU, en el continente de América Latina.....	55
8.1.3.1. Brasil	55
8.1.3.2. Ecuador	55
8.1.4. Modelos de actuales de alternativas de gestión de residuos en Colombia.	62
8.1.4.1. Sistemas autorizados	63
8.1.4.2. Sistemas no autorizados.....	63

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

8.2. Descripción de las políticas públicas y marco regulatorio vigente en el manejo de residuos sólidos municipales establecidos en Colombia para contribuir en la disminución de la contaminación ambiental.....	65
8.2.1. Servicio público de aseo.....	66
8.2.2. Residuos de construcción y demolición (RCD).....	68
8.2.3. Biosólidos.....	69
8.2.4. Residuos sólidos en planificación territorial	69
8.2.5. Uso racional de bolsas plásticas y residuos de alimentos.	70
8.2.6. Política de crecimiento verde	70
8.2.7. Residuos sólidos durante la emergencia sanitaria COVID-19.....	70
8.3. Alternativas de manejo de los residuos sólidos desde la perspectiva de la economía circular para ser integrado en el plan de gestión de residuos sólidos del municipio de Tierralta.	
75	
8.3.1. Composición del PGIRS del municipio de Tierralta.....	75
8.3.2. Alternativa de manejo de RSU propuesto para el municipio de Tierralta.	75
8.3.2.1. Evaluación y selección de alternativa tecnológica de manejo de RSU.	75
8.3.2.2. Valoración final de las alternativas de manejo de residuos sólidos.....	78
IX. CONCLUSIONES	80
X. RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS	82

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los criterios de búsqueda en bases de datos	51
Tabla 2. Modelos de alternativas para la gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional.	56
Tabla 3. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos en Colombia	64
Tabla 4. Resumen marco normativo en gestión de residuos solidos	71
Tabla 5. Valoración para calificar los sub-criterios.	76
Tabla 6. Valoración de las alternativas de manejo de residuos sólidos.	76
Tabla 7. Valoración de las alternativas de manejo de RSU.	78

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Objetivos de desarrollo sostenible.	32
Fig 2. Gestión de residuos sólidos municipales a partir de la herramienta P-graph	39
Fig 3. Diagrama de flujo para la obtención de energía a partir de contaminantes de residuos urbanos y agrícolas	40
Fig 4. Línea de tiempo de la principal normativa de Colombia para el manejo de residuos solidos	42
Fig 5. Localización del municipio de Tierralta	47
Fig 6. Pasos metodológicos de la investigación realizada	49
Fig 7. Porcentajes de recuperación y disposición final de residuos sólidos, periodo 2013	59
Fig 8. Generación de residuos sólidos municipales en países de Latinoamérica.	61

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ANDE	Agencia Nacional de Desarrollo
EC	Economía circular
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
DANE	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ENEC	Estrategia Nacional de Economía Circular
EU	Unión Europea
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
MINAMBIENTE	Ministerio de Ambiente
MINCIT	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
MINECON	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAEC	Plan de Acción de Economía Circular
PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
POT	Plan de ordenamiento territorial
PRTR	Plan para la Recuperación, Transformación y Resiliencia
RUS	Residuos Sólidos Urbanos
SSPD	Superintendencia de Servicios Público Domiciliario
USAUID	La Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAUID, por su sigla en inglés)

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

RESUMEN

El presente trabajo de monografía tiene como finalidad presentar los modelos actuales existentes como alternativas para el manejo de los residuos sólidos municipales, mediante una economía circular para su integración en el Plan de Gestión de Integral de Residuos Sólidos del municipio de Tierralta-Córdoba. Esta investigación identifico los tratamientos más usados y actuales en el manejo de los residuos. Correspondió a un estudio de tipo descriptivo con enfoque cualitativo, fundamentado en la revisión de revistas indexadas, información institucional y paginas confiables de entidades públicas a nivel nacional e internacional; se realizó una descripción a nivel internacional, nacional y local de cuáles eran los modelos actuales para la gestión de los residuos y así mismo se hizo una descripción de la normativa nacional existente.

Posteriormente los resultados permitieron identificar que a nivel internacional hay países con implementación y practica de modelos actuales como pirolisis, compostaje, etc., para un tratamiento en el cual aplican los principios de economía circular; pero de esta misma forma no sucede en América Latina incluyendo a Colombia, ya que aún siguen usando métodos tradicionales como la recolección, transporte y disposición final de residuos.

Finalmente, con los resultados descritos se propuso para el municipio de Tierralta, la integración de alternativas de manejo de residuos de gasificación por plasma y la planta de biogás o digestión anaerobia como tecnologías avanzadas para el tratamiento de residuos sólidos Urbanos

Palabras clave: *economía circular, aprovechamiento; alternativa de manejo de residuos sólidos; residuos sólidos municipales.*

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to present the current existing models as alternatives for the management of municipal solid waste, through a circular economy for its integration into the Integral Solid Waste Management Plan of the municipality of Tierralta-Córdoba. This research identifies the most used and current treatments in waste management. It corresponded to a descriptive study with a qualitative approach, fundamental in the review of indexed journals, institutional information and reliable pages of public entities at a national and international level; A description was made at the international, national and local level of the characteristics of the current models for waste management and a description of the existing national regulations was also made.

Subsequently, the results allowed us to identify that at the international level there are countries with the implementation and practice of current models such as pyrolysis, composting, etc., for a treatment in which the principles of circular economy apply; but in this same way it does not happen in Latin America, including Colombia, since they still continue to use traditional methods such as the collection, transport and final disposal of waste.

Finally, with the results described, it was proposed for the municipality of Tierralta, the integration of plasma gasification waste management alternatives and the biogas or anaerobic digestion plant as advanced technologies for the treatment of urban solid waste.

Keywords: circular economy, use; solid waste management alternative; municipal solid waste

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

I. INTRODUCCIÓN

La incidencia de la eliminación inadecuada de los residuos sólidos en el ámbito municipal y las gestiones tradicionales de residuos, tales como: botaderos, quemas a cielo abierto, rellenos sanitarios, plantas de incineración (Lizardo, 2017), se presentan al desmejorar las condiciones de vida de las personas, reduciendo su productividad y por ende su contribución al desarrollo económico mediante la generación de problemas ambientales conllevando a pagar elevados costos económicos y sociales (Martínez & Porcelli, 2018).

En ese sentido los residuos sólidos generados en el municipio de Tierralta departamento de Córdoba han representado una problemática ambiental y social de acuerdo al Plan de Cierre y Clausura del Antiguo Botadero a Cielo Abierto del municipio de Tierralta, formulado por la Fundación Misión Ambiente en el año 2016, se estableció que las operaciones de disposición de residuos sólidos se iniciaron en el año 1990 por empresa de servicios públicos municipales de Tierralta. La Empresa realizaba la recolección en el casco urbano y disponía todo tipo de residuos sin previa separación, directamente en el predio privado sin prácticas adecuadas de disposición, por un período de 21 años hasta su terminación en el mes de noviembre del año 2011.

De acuerdo a este plan, sobre el sitio se disponían un promedio de 22 ton/día, equivalente a una fracción total del 99.9% de la producción de residuos de todo el casco urbano municipal. Con base en el promedio del peso dispuesto diario y el tiempo de operación del antiguo botadero, se estimó que durante todo este tiempo se dispuso un total de 173.712 toneladas de residuos sólidos aproximadamente. En ese tiempo no se contaba de un proceso de reciclaje formalizado, se concentraban familias enteras en estado de vulnerabilidad, el cual realizan la recuperación de algunos materiales en condiciones técnicamente insipientes, deplorable e irregular, poniendo en riesgo la salud de todas las personas que participaban de la recuperación de materiales.

En ese orden, la gestión actual realizada en el municipio de Tierralta, sobre los residuos sólidos está enfocada en la recolección en el casco urbano y realiza su disposición final en el relleno sanitario de la ciudad de Montería y aunque cumple con los estándares legales y técnicos establecidos para su operación, conforme a lo definido en el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 del Ministerio vivienda, ciudad y Desarrollo, es categorizado como tipo III, es decir calificado

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

para recibir mayores de 500 hasta 3000 toneladas al día de residuos y Las actividades de operación, las obligaciones y labores de monitoreo y seguimiento se desarrollan en cumplimiento de la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Desarrollo, reglamentaria del Decreto 1784 de 2017.

Por otro lado, el proceso de reciclaje en los últimos años ha cogido fuerza, el Plan de Manejo Integral de Residuos sólidos del Municipio de Tierralta 2017-2029 en la fase de implementación establece la legalización de dos asociaciones de recicladores que trabajan continuamente en el reciclaje de materiales generando así un impacto positivo, no solo a carga del medio ambiente de los residuos que se disponen, sino también en la generación de empleo e ingresos para las familias, permitiendo así que los residuos sólidos en dicho municipio estén siendo separados y clasificados desde las diferentes fuentes empezando desde algunos hogares, negocios y empresas, culturizando de a poco a la comunidad.

Por lo tanto, aunque ya existen iniciativas positivas en el manejo de residuos, aun la gestión avanza a paso lento y hay mucho por realizar; especialmente la zona rural carece de servicios de recolección de residuos, no se cuenta en su totalidad. Ahora bien, surge la necesidad de establecer medidas y alternativas más eficientes y contundentes para el manejo total de los residuos sólidos generados en el municipio de Tierralta.

Por ello, la importancia de un modelo basado en una economía circular, aunque se comenzó hablar en la época de los ochenta por autores como Pearce y Turner, en realidad su aplicabilidad obedece a la actualidad, donde busca mejorar en incrementar el valor de los recursos naturales manteniéndolos el mayor tiempo posible en uso, al mantenerlo en circulación y extender el ciclo de vida de un producto, evitando el exceso de desperdicio, beneficios para la comunidad, empresas y países (Cerdeira y Khalilova, 2016). Y no menos importante, para la sostenibilidad de la tierra; este modelo económico, social y ambiental conlleva un nuevo reto dado que involucra el establecimiento de un régimen basado en una economía que permite minimizar los impactos y preservación de los recursos naturales y aumentar la eficiencia del uso de recursos y mejorar el bienestar de todas las partes interesadas (Almeida y Diaz 2020).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba.

En efecto, los retos a los que se enfrenta el municipio priorizado en esta monografía, se debe concebir desde la integralidad de estrategias; no existe una solución única al problema principal del mal manejo de los residuos, por lo que es necesario proponer un enfoque integral para enfrentar la complejidad del problema y tomar acciones que estimulen el desarrollo urbano y rural que promuevan el logro colectivo del ente territorial para ello se hace necesario plantearse lo siguiente: ¿Cuáles son las alternativas ambientales, a partir de los modelos de Economía Circular, para el manejo integral de los residuos del municipio de Tierralta, que permita minimizar la problemática ambiental y su integración en el fortalecimiento de Plan de Gestión de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipal? ¿La gestión actual de residuos realmente contribuyen en el aprovechamiento de residuos sólidos municipales?, ¿Existen políticas claras que contribuyan al mejoramiento de la calidad ambiental desde el principio de la economía circular? Y, por último, ¿Cómo implementar una estrategia en economía circular para el manejo adecuado de residuos municipales?

Cada una de esas inquietudes son necesaria y e importante desde la perspectiva ambiental en la gestión de residuos por lo cual, el objetivo principal de la presente monografía esta en analizar las alternativas de manejo de los residuos sólidos municipales, mediante el modelo de Economía Circular, para su integración en el Plan de Gestión de Integral de Residuos Sólidos del municipio de Tierralta-Córdoba, que permita de obtener la descripción de modelos actuales como alternativas de gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional, nacional y local, así como las políticas públicas y marco regulatorio vigente en el manejo de residuos sólidos municipales establecidos en Colombia para contribuir en la disminución de la contaminación ambiental y proponer alternativas de manejo de los residuos sólidos desde la perspectiva de la economía circular para ser integrado en el plan de gestión de residuos sólidos del municipio de Tierralta.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la antigüedad, la eliminación de los residuos sólidos era considerada una problemática significativa, ya que la tasa de generación de residuos era insignificante respecto a la tasa de resiliencia ecológica del espacio utilizado para su disposición (López & Franco, 2020), sin embargo, factores como el crecimiento demográfico, la concentración y expansión de las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y mejoras en los niveles de vida (crecimiento económico), entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos per cápita; además de la falta de conciencia e implementación de políticas para generar una adecuada separación y aprovechamiento de estos desde la fuente hasta la disposición final (Sáez & Urdaneta, 2014; Namlis & Komilis, 2019). Es por ello que el manejo integrado de los residuos sólidos constituye a nivel mundial un problema para todas las comunidades y, por lo tanto, un objeto de estudio e interés a nivel ambiental.

La incidencia de la gestión y la eliminación tradicional de residuos sólidos muestran que, a nivel mundial, aproximadamente el 37 % de los residuos sólidos generados municipalmente se elimina en vertederos o rellenos sanitarios, mientras que, un 33 % se vierte en ambientes abiertos, el 11 % de los residuos se incineran y el 19 % de los residuos producidos se recupera mediante el reciclaje y el compostaje (Samarasinghe & Wijayatunga, 2022). Lo que se traduce en la disminución de las condiciones de vida de las personas, reduciendo su productividad y por ende su contribución al desarrollo económico mediante la generación de problemas ambientales lo que da a pagar elevados costos económicos y sociales (Martínez y Porcelli, 2018).

En Colombia, la problemática ambiental por la generación de los residuos sólidos no es ajena, según el Departamento Nacional de Planeación-DNP al 2016, existían 167 sitios no autorizados, se producían 11,6 millones de toneladas de basura al año, se disponían en rellenos sanitarios 26.975 toneladas diarias de residuos sólidos domiciliarios. Históricamente, Bogotá es la ciudad donde más se produce residuos, cerca de 6.300 toneladas/día, seguido del departamento de Antioquia (3.260 ton/día), Valle del Cauca (3.072 ton/día) y Atlántico (1.907 ton/día) y solo se recicla el 17%. Sin embargo, aunque se estableció que para el año 2018 aumentar la meta al 20% de aprovechamiento para reducir la cantidad de residuos que van a los rellenos e incentivar el reciclaje sigue siendo incipiente según el plan de desarrollo proyectado para ese periodo; el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022), menciona que sobre los datos de

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 16

aprovechamiento de residuos sólidos, la Superservicios registró que en 2018 se reportaron 974.039 toneladas, en el 2019 fueron 1.407.785 toneladas y en 2020 1.903.269 toneladas aprovechadas por 494 prestadores del servicio público de aseo en todo el país. Este mismo menciona que la meta a 2030 es llegar a una tasa del 17.9 %; Actualmente, en el país se avanza en el marco de la Ley de Acción Climática que se aprobó en diciembre de 2021 con el uso de plásticos de un solo uso y se pretende para el 2030 reciclar en 100% de dichos plásticos para reutilizarlos.

De acuerdo al DNP (2016) se requieren inversiones por \$3,3 billones en los próximos 10 años para garantizar el 100% de disposición final adecuada y cerrar brechas de cobertura en recolección entre áreas urbanas y rurales, recicladores de oficio deben asociarse para constituirse como prestadores del servicio público de aseo, donde, los Planes de Ordenamiento Departamental deben identificar áreas para infraestructura y habilitar usos del suelo para rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de residuos, ya que el 80% de los municipios del país no han actualizado sus Planes municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos y las brechas de coberturas de recolección entre áreas urbanas y rurales se han estimado que en los próximos 10 años en una generación de residuos que crezca en un 20%.

En ese sentido, a escala local los residuos sólidos generados en el municipio de Tierralta han representado una problemática ambiental y social de acuerdo al Plan de Cierre y Clausura del Antiguo Botadero a Cielo Abierto, formulado por la Fundación Misión Ambiente en el año 2016, donde se estableció que las operaciones de disposición de residuos sólidos se iniciaron en el año 1990 por la empresa de servicios públicos municipales de Tierralta. La Empresa realizaba la recolección de los residuos sólidos en el casco urbano y disponía directamente en el predio privado sin prácticas adecuadas de manejo, por un período de 21 años hasta su terminación en el mes de noviembre del año 2011. Sobre el sitio se disponían toda clase de desechos; residuos orgánicos e inorgánicos, residuos hospitalarios, escombros, animales muertos, entre otros, los cuales en su mayoría eran quemados; además, de los sitios clandestinos de disposición a lo largo y ancho del territorio municipal.

Acorde con este plan, sobre el sitio se disponían un promedio de 22 ton/día, equivalente a una fracción total del 99.9% de la producción de residuos de todo el casco urbano municipal. Con base en el promedio del peso dispuesto diario y el tiempo de operación del antiguo botadero, se

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 17

estimó que durante todo este tiempo se dispuso un total de 173.712 toneladas de residuos sólidos aproximadamente. En ese tiempo no se contaba de un proceso de reciclaje formalizado, se concentraban familias enteras en estado de vulnerabilidad, las cuales realizaban la recuperación de algunos materiales en condiciones técnicamente inadecuadas, poniendo en riesgo la salud de todas las personas que participaban de la recuperación de estos materiales.

Por ello, cobra la importancia un “nuevo” modelo basado en una economía circular y aunque se comenzó a hablar en la época de los ochenta, en realidad su aplicabilidad obedece a la actualidad, donde se busca mejorar e incrementar el valor de los recursos naturales manteniéndolos el mayor tiempo posible en uso, de esta manera, al conservarlo en circulación y extender el ciclo de vida de un producto, se está evitando el exceso de desperdicio, y se favorecen los beneficios para la comunidad, empresas y países (Cerde y Khalilova, 2016), y no menos importante, para la sostenibilidad de la tierra. Este modelo económico, social y ambiental conlleva un nuevo reto dado que involucra el establecimiento de un régimen basado en una economía que permite minimizar los impactos, la preservación de los recursos, aumentar su eficiencia y mejorar el bienestar de todas las partes interesadas (Almeida y Diaz, 2020).

Actualmente, en Colombia, aunque se ha avanzado lentamente sobre esta nueva temática, no es ajena a esa dinámica circular (Ortiz, 2019). En Colombia se han adelantado políticas de economía como la Estrategia Nacional de Economía Circular creada por el MINAMBIENTE y MINCIT del año 2019, que propende por un nuevo tipo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, y reducir la huella hídrica y de carbono.

En ese orden de ideas, la gestión actual realizada en el municipio de Tierralta, sobre los residuos sólidos está enfocada en la recolección en el casco urbano, y realiza su disposición final en el relleno sanitario de la ciudad de Montería y aunque cumple con los estándares legales y técnicos establecidos para su operación, conforme a lo definido en el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 del Ministerio vivienda, ciudad y Desarrollo, es categorizado como tipo III, es decir calificado para recibir mayores de 500 hasta 3000 toneladas al día de residuos y las

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 18

actividades de operación, las obligaciones y labores de monitoreo y seguimiento se desarrollan en cumplimiento de la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, reglamentaria del Decreto 1784 de 2017.

De acuerdo a la carga, este relleno recibe lo producido en la ciudad de Montería y los municipios aledaños provocando la disminución de su vida útil, como también problemas de contaminación ambiental y sufrimiento de muchas familias, lo que obligará en poco tiempo a las administraciones departamentales y municipales en la planeación de nuevos sitios de disposición de residuos (Diario la piragua, 2017); además, el municipio al Tierralta, se le suma que la zona rural no realiza la recolección de los residuos, permitiendo a la población realizar tratamientos antiguos como la quema y enterrar en huecos en sus fincas y viviendas (PGIRS Municipal 2017-2029).

De otro modo, el proceso de reciclaje en los últimos años ha cogido fuerza, el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tierralta 2017-2029 en la fase de implementación establece la generación y disposición de residuos entre el año 2017 y 2022 con un total de 37474.38 toneladas; además, la legalización de dos asociaciones de recicladores que trabajan continuamente en el reciclaje de materiales de aproximadamente 280 toneladas, generando así un impacto positivo, con el aprovechamiento no solo a carga del medio ambiente de los residuos que se disponen, sino también en la generación de empleo e ingresos para las familias, permitiendo así que los residuos sólidos en dicho municipio estén siendo separados y clasificados desde las diferentes fuentes empezando desde algunos hogares, negocios y empresas, culturizando de a poco a la comunidad.

Por lo tanto, mediante una de las organizaciones de recicladores municipales se adelanta la realización del Proyecto: Economía circular para el sur de Córdoba, para el fortalecimiento del reciclaje en el corredor productor rural de los corregimientos de Batata y Santa Ana en articulación con el programa de Territorio de Oportunidad de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID); donde se han adelantado acciones encaminadas a la culturización, recolección, transporte y ventas del material reciclable, específicamente plásticos.

Por lo tanto, aunque ya existen iniciativas positivas en el manejo de residuos, aun la gestión avanza a paso lento y hay mucho por realizar; teniendo en cuenta la magnitud territorial del

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 19

municipio y que especialmente que la zona rural carece de servicios de recolección de residuos y no se cuenta en su totalidad con procesos de reciclaje y la disposición de residuos se realiza en la intemperie y en algunos casos son quemados. Por tal motivo, surge la necesidad de establecer medidas y alternativas más eficientes y contundentes para el manejo total de los residuos sólidos generados en el municipio de Tierralta.

Los retos a los que se enfrenta el municipio se debe concebir desde la integralidad de estrategias; no existe una solución única al problema principal del mal manejo de los residuos, por lo que es necesario proponer un enfoque integral para enfrentar la complejidad del problema y tomar acciones que estimulen el desarrollo urbano y rural que promuevan el logro colectivo del ente territorial para ello se hace necesario plantear lo siguiente: ¿Cuáles son las alternativas ambientales para el manejo integral de los residuos sólidos generados en el municipio de Tierralta, a partir de los modelos de economía circular mediante fortalecimiento de Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipal?

III. JUSTIFICACIÓN

Esta monografía se presenta como una oportunidad de entender el manejo y la gestión de los residuos sólidos urbanos generados, en el ámbito internacional, nacional y especialmente en el municipio de Tierralta Córdoba, con el fin de crear una oportunidad para desarrollar una temática coherente que le permitan integrar alternativas de un manejo adecuado de los residuos sólidos en el municipio y sobre todo, beneficiar a la comunidad con la mitigación de los impactos negativos en los recursos naturales como agua, suelo y en el ambiente en general. Igualmente, es una aproximación que se permite desde la academia al sector público en el municipio de Tierralta para contribuir con una propuesta de apoyo al mejoramiento de las condiciones ambientales del municipio.

El análisis de las alternativas de manejo de los residuos sólidos municipales, mediante el modelo de Economía Circular, permitirá proponer estrategias de responsabilidad social y ambiental del municipio como son las de proteger el medio ambiente para su integración y fortalecimiento en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio de Tierralta-Córdoba

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Analizar las alternativas de manejo de los residuos sólidos municipales, mediante el modelo de Economía Circular, para su integración en el Plan de Gestión de Integral de Residuos Sólidos del municipio de Tierralta-Córdoba.

4.2. Objetivos específicos

- ❖ Describir modelos actuales como alternativas de gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional, nacional y local, para conocer y aplicar en el municipio de Tierralta Córdoba
- ❖ Describir las políticas públicas y marco regulatorio vigente en el manejo de residuos sólidos municipales establecidos en Colombia para contribuir en la disminución de la contaminación ambiental.
- ❖ Proponer alternativas de manejo de los residuos sólidos desde la perspectiva de la economía circular para ser integrado en el plan de gestión de residuos sólidos del municipio de Tierralta.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Residuos sólidos.

Se suele pensar que los residuos sólidos son todos aquellos materiales sobrantes desechados en estado líquido, sólido y gaseoso; los cuales se generan principalmente a partir de las labores del hogar, empresas, negocios y de las diferentes formas de consumo, que se llevan a cabo diariamente en la cotidianidad y de una u otra forma, ya no se consideran importantes (Bravo & Martínez, 2021). También la normativa colombiana a partir del Decreto 2981 de 2013, define que un residuo sólido es un objeto o elemento que en su mayoría es sólidos y se derivan del consumo o uso de un bien en tareas domésticas, institucionales, comerciales, de servicio o industriales; también son considerados residuos sólidos, aquellos generados de las actividades de limpieza y barridos de distintas zonas y vías públicas.

5.2. Clasificación de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos pueden clasificarse en aprovechables y no aprovechables, como su nombre lo indica, los aprovechables son aquellos que permiten ser aptos de recuperación, entre los más reconocidos están las botellas de plásticos, vidrio, cartón, papel, latas, etc. o contrario a los no aprovechables que no tienen valor y no tienen forma de recuperación, y a los cuales se les debe dar un tratamiento especial, un ejemplo de ello son los residuos sanitarios, envolturas, restos de comida, pañales, etc. Adicional al hacer esta clasificación de los residuos es posible tener beneficios en la parte socioeconómica como también en la contribución a la buena gestión de los residuos, evitando que todos lleguen a los rellenos sanitarios y causen degradación a los recursos naturales (Wang & Usted, 2020).

Por otra parte, en Colombia el Decreto 838 de 2005, El Decreto 2981 de 2013 y el Decreto 351 de 2014 permite ver otras clasificaciones adicionales de los residuos sólidos, lo cual está basado por el estado de los mismos, entre los que se destacan los sólidos, líquidos y gaseosos. La clasificación según su origen, está dada según la actividad que lo origine o el sector; entre los más relevantes se mencionan los residuos urbanos; que son aquellos que se componen de basura doméstica. Industriales; aquellos producidos en función de los procesos en producción, inertes: son esos residuos que se mantiene estable en el tiempo, los cuales no producirán efectos ambientales apreciables, como por ejemplo los escombros, desechos de oficinas, entre otros. Peligrosos; son

aquellos residuos que, pese a sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas pueden provocar alteración directa e indirecta desfavorable en la salud de las personas y el medioambiente. No peligrosos; aquellos producidos por el generador en desarrollo de su actividad y no presentan características de ser peligrosos. Hospitalarios; son los restos de residuos generados en el sector clínico o de investigación.

5.3. Residuos sólidos urbanos o municipales (RSU)

Los RSU son los generados por las actividades propias de las ciudades, los cuales han experimentado crecimientos y disposición de desechos en los últimos años debido al aumento poblacional y los hábitos de consumo desproporcionados, generando una problemática a nivel mundial, especialmente porque la clasificación que se hace es poca o nada, y en muchos países del mundo presentan la misma causa raíz: falta de políticas públicas que regulen y permitan dar un estricto control a los residuos sólidos (López & Franco, 2020).

Actualmente en varias partes del mundo se está tratando de hacer una gestión y clasificación de los residuos sólidos, generados a nivel municipal o de industrias, un ejemplo es la creación de compostaje a través de los residuos orgánicos, los cuales son en su mayoría biodegradables (se descomponen naturalmente), y debido a que presentan un alto contenido nutricional para los suelos son muy utilizados en la producción agrícola; Pero pese a que no se hace una adecuada clasificación y/o separación de los residuos en la fuente, terminan en los rellenos sanitarios en conjunto con los demás residuos de material inerte, provocando así gran contaminación a los suelos o fuentes de agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019).

Por otro lado, los residuos más conocidos y con potencial de reciclaje, son el plástico y el cartón, los cuales, son comercializados por diferentes industrias o personas dedicadas a la labor de reciclaje de manera formal e informal, permitiendo surgir múltiples actividades en la transformación de materia prima para la elaboración y/o producción de nuevos materiales en sectores como el textil y el manufacturero, en la fabricación de productos como telas, zapatos, bolsos, muebles, entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019).

Por último, los residuos sólidos, adicional a su clasificación también deben tener una disposición final adecuada, ya que la mayoría son aprovechables y se transforman en materias

primas, o aquellos que no son aprovechables son dispuestos directamente a sitios, tales como un relleno sanitario, plantas de tratamiento, incineraciones, gasificación, etc (Lin et al., 2022).

5.4. Disposición Final de residuos solidos

Según el Decreto 2811 de 1974, en Colombia los residuos sólidos deben ser recolectados, tratados, procesados y darle una disposición final a cualquier tipo, ya sea considerado basura, desecho, en si todos en general sin importar su clase, así mismo también menciona que los municipios deben contar con los recursos para hacer gestión de dichos residuos como su transporte y disposición final.

Por lo anterior, cabe mencionar que una disposición final de residuos es la fase en que se aparta y se encierran los residuos en un lugar o espacio definitivo previamente seleccionado con el fin de limitar la contaminación al medio ambiente o generar alteraciones en la salud humana (Decreto 838 de 2005).

Los lugares o los procesos que se le asignan a los residuos sólidos para darles esa disposición final dependerá cuál sea la más adecuada al tipo de residuo, sus características, tamaño y origen; pero adicional a esto existen unos sitios donde la mayoría de países los depositan, en lugares conocidos como basureros, vertederos, rellenos sanitarios, siendo este último un poco diferente a los otros porque presenta una adecuada ingeniería como la permeabilización del suelo para evitar el lixiviado y debe contar con estándares normativos para su adecuado funcionamiento; adicional, en cuanto a los vertederos se podría mencionar que es una especie de relleno sanitario, sin la adecuada estructura de ingeniería, es decir que todos estos lugares funcionan como depósitos subterráneos o superficiales cuando se trata de basureros; sin embargo, los más usados por ser más económicos y convenientes para la eliminación de los residuos sólidos municipales en todo el mundo son los vertederos, pero es vital que se realicen pretratamiento, con el fin de reducir el contenido de materia orgánica, agua en las partículas, reciclar componentes antes del vertido y hacer trituración de los residuos voluminosos (Ren et al., 2022).

Según Colorado & Echeverri (2020), el crecimiento demográfico se relaciona en gran medida con la generación de los residuos sólidos y de ahí la importancia de que los países generen estrategias que permitan obtener la mejor disposición final de sus residuos sin importar su origen; este es un tema que día a día cobra gran importancia en la economía de dichos países, lo que ha

obligado a que sus políticas tengan en cuenta la medición y el control de la generación de residuos, ya que la identificación y clasificación de los residuos por regiones en todo el mundo está estrechamente relacionado con la composición de los mismos, por lo que se hace necesario revisar, comprender y actuar frente a los impactos ambientales negativos causados por los residuos a través de estrategias que incluyan el reciclaje, la reutilización y métodos de nuevos usos y tratamientos, ya que las empresas crecen a un ritmo acelerado más que el PIB (Producto Interno Bruto) de los países.

Por todo lo anterior, los residuos sólidos constituyen una gran amenaza para los recursos naturales, los servicios ecosistémicos y para la salud de las personas como se ha mencionado antes, por lo que cada vez la preocupación por implementar medidas a solucionar este problema es mayor, por lo cual es relevante hacer gestiones de manejo de los residuos sólidos a nivel de todos los sectores y en todos los procesos, analizando la gestión del reciclaje y la disposición final de los mismos, ya que estos inciden en la economía de una país, una región (Espinoza et al., 2020).

5.5. Gestión de los residuos solidos

La gestión de los residuos sólidos es la integración de actividades en busca de minimizar la cantidad de residuos sólidos generados, con el fin de aprovechar las cualidades de cada residuo como es el tipo de material, tamaño, volumen, origen, costo, para asignarle un valor a nivel económico, energético y comercial, donde también la gestión de los residuos sólidos se preocupa por no solo por la disposición final de aquellos que tiene valor, sino también de los que no son aprovechables (Decreto 2981 de 2013).

Según Mulya et al. (2022), a nivel global la gestión de los residuos sólidos se hace a partir de varios métodos, entre los cuales y los que más interesa a países del mundo es la generación de energía y el compostaje para la agricultura, pero que a su vez es importante también tener en cuenta el ciclo de vida de los residuos, ya que a partir de allí se puede identificar los diferentes peligros pudiendo así tomar decisiones ambientalmente responsables.

5.6. Métodos y tratamientos para los residuos solidos

En cuanto a la gestión de los residuos sólidos y sus diferentes tratamientos se ponen como la cara visible para dar apoyo a la agenda internacional del desarrollo sostenible, la cual está en

entera preocupación e interés para atender los problemas asociados a los residuos antes de 2030 y generar energía limpia y asequible (Cabrera, 2022).

Hay algunos tratamientos importantes que sirven para dar gestión a los residuos sólidos municipales o residuos sólidos urbanos como son conocido en la gran mayoría de países, lo cual sucede a través de la biomasa generada por estos, según Cabrera (2022), uno de los tratamientos que propone es la **Pirolisis**, proceso que implica la descomposición térmica de la materia orgánica (seleccionada de los residuos sólidos) sin oxígeno el cual produce biocarbón.

por otro lado, autores como Guo et al. (2021) mencionan que dicha pirolisis se encuentra como uno de los principales campos de aplicación en la gestión de residuos sólidos municipales seguido de el compostaje y la digestión anaeróbica, vertedero, e incineración.

Además, Ghatak et al. (2018), proponen la **Anaeróbica de la biomasa** a diferencia del compostaje, la cual trata principalmente las fracciones biodegradables, utiliza microorganismos para degradar la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, lo que puede producir un biogás altamente energético. También Vega et al. (2017), sugieren a la **Biomasa** residual como tratamiento que se obtiene de los residuos sólidos urbanos, ya sea maderable o forestal, herbácea, acuática o estiércoles, en donde permite obtener bioenergéticos con beneficios ecológicos, económicos y sociales; y en la cual destacan dos tipos de tratamientos: a) los termoquímicos, que agrupan la combustión, gasificación o pirolisis y b) los biológicos, que incluyen la digestión anaeróbica y la fermentación. Otro tratamiento muy importante lo exponen Sandoval et al. (2016), el cual es la **Transferencia de calor**, ya que permite producir calor industrial y consiste en la transferencia de calor por la incineración de la biomasa contenida en los residuos sólidos, con el fin de aprovecharla como suministro de energía calorífica directa; es uno de los procesos más utilizados, debido a su bajo costo. Así como la **Fermentación**, para producción de bioetanol; es un alcohol carburante que surge de la fermentación de los azúcares contenidos en la biomasa de los residuos sólidos (Yafetto, 2022).

Por otra parte como mencionan Bernat et al. (2022), otros métodos de tratamiento para los residuos sólidos municipales, actualmente muy reconocidos y de altos costos de construcción e implementación, son las instalaciones de tratamiento mecánico-biológico, las cuales son máquinas diseñadas para la recuperación de materiales como: plásticos, vidrio, metales y combustible

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 27

alternativo de alto poder calorífico; por otra parte está máquina también emplea la recuperación biológica de los residuos sólidos urbanos y uno de sus fines es realizar compostaje, el cual resulta del proceso de oxidación de esos residuos biológicos o también conocidos como orgánicos, que son los desechos de comida, heces de animal, pasto, que a su vez se desintegran fácilmente y sirven de nutrientes especialmente en la parte de la agricultura.

Sin embargo no está demás mencionar que al momento de hacer gestión de los residuos sólidos se requiere soluciones sostenibles y que a su vez sean de nivel multicriterio, es decir involucrar la parte medioambiental, económica, social y técnica; es contar con los criterios y opiniones de todas las partes interesadas, aunque muchas veces parece que este rol fuera solo de una persona y no de las que realmente se requiere en los procesos para hacer una buena gestión de los residuos (García, 2022).

5.7. Economía circular

Por lo anterior cabe resaltar que se ha mencionado algunos tratamientos y métodos para hacer una buena gestión de los residuos sólidos, que sirve para aquellos generados particularmente de las industrias y los municipales, sin embargo Sharma et al. (2021), indican que aun así, la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la cual integra los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), le ha preocupado antes y ahora aún más que debido a la pandemia COVID-19 es por esto que los ODS están un poco lejos de continuar en desarrollo, y que pese a esto, ponen su mirada en un método que podría ayudar a alcanzar las metas de los ODS, el cual es el método de manejar los residuos sólidos municipales a través de la economía circular, ya que esta permite la creación y formalización de empleos verdes, formalización a los recicladores, gestión de residuos, educación y formación a trabajadores informales; solo que podría haber un factor negativo en todo esto y son las cuestiones generadas en cuanto a las políticas, la tecnología y la participación pública quienes podrían obstaculizar el cambio al modelo de economía circular.

5.8. Definiciones de economía circular.

La Fundación Ellen MacArthur (2019), es una organización benéfica internacional, comprometida con el desarrollo y la promoción de la idea de la economía circular para hacer frente a algunos de los mayores desafíos de nuestro tiempo, como el cambio climático, la pérdida de

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 28

biodiversidad, los residuos y la contaminación. También menciona la existencia de muchos modelos económicos como la economía verde, azul, la economía de la rosquilla, de la cuna a la cuna, etc. Pero ¿en qué se diferencian o asemejan de la economía circular?

Gong y Whelton (2019), indica que se dio cuenta que los recursos son “finitos”, como es el combustible fósil, metales, el fosforo, entre otros; y que las economías actuales usan esos materiales y los agota y que cada año se pretende usar menos de estos porque al final, se agotarían en su totalidad. Entonces, lo que se busca con la economía circular, o mejor dicho con la circularidad es, “mantener materiales en ciclos biológicos para construir una economía restauradora y regenerativa”, es esa transformación y/o eliminación de la economía lineal, ya que el método de economía circular se implementó con el fin de generar un crecimiento sostenible por medio del cambio en los sistemas de las industrias, acaparando la eficiencia en el uso de los recursos y enfatizándose en la sostenibilidad del medio ambiente, en donde se busca por medio del reciclaje y reutilización de los residuos sólidos mejorar la capacidad de producción en la implementación de tecnologías, disminuyendo así los impactos negativos sobre el ambiente, aumentando el bienestar social y generando mayor eficiencia en la producción industrial.

5.9. Principios de la economía circular

Se presentan tres (3) principios de la economía circular por Ellen MacArthur (2019), los cuales son: diseños fuera de residuos y contaminación, pues aquí la economía diseña y tiene en cuenta las externalidades negativas para la salud humana y el medio ambiente a la hora de seleccionar las materias primas para su producción. El segundo (2) principio, el cual consiste en mantener productos y materiales en uso, esto quiere decir, crear productos con durabilidad y a la vez que se puedan reutilizar, que se mantengan circulando en la economía y en los sistemas de circulación fomentando en todo momento materiales de base biológica. Como un último principio, se tiene el de regenerando sistemas naturales, esto significa que una economía circular evita el uso de recursos no renovables y que antes impulsa a la preservación y a la reparación de estos mismos.

Por último, los principios basados en economía circular que adopto el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019), con el fin de ejecutar programas de desarrollo sostenibles para las ciudades, los cuales son la reducción, el reciclaje y la reutilización del material en una cadena de producción y consumo.

5.10. Normativa en Colombia sobre el manejo de los residuos sólidos.

En Colombia se presenta un plan de gestión municipal con la intención de poner en práctica lo antes mencionado para dar regulación y control a los residuos sólidos municipales, el cual es el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGRIS; el cual, es una estrategia normativa nacional enmarcada en el Decreto 2981 de 2013 expedido por el Ministerio De Vivienda Ciudad y Territorio, reglamentario de la prestación del servicio público de aseo, que incluye además la actividad de recolección y transporte de residuos aprovechables, y en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta soportado en la Resolución 0754 de 2014, por la cual se establece la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los mismos planes de gestión, como herramienta de planeación orientada a asegurar el adecuado manejo de los residuos sólidos”. Estos a su vez compilados en el Decreto 1076 de 2015 del sector ambiente y desarrollo sostenible; y que se desarrolla desde la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de interés social, económico, ambiental y sanitario, y para el logro de sus objetivos *“desde el sector de residuos sólidos, se propone avanzar hacia una economía circular, la cual busca que el valor de los productos y materiales se mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo”* (CONPES. 2016).

Así mismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2019) han creado el documento *“Estrategia Nacional de Economía Circular”*, enfocada en *“cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio”*, buscando entonces nuevas tecnologías enfocadas al reciclaje, aprovechamiento y tratamiento de recursos, factor fundamental para millones de sectores que buscan reducir sus costos especialmente en materia prima, lo que quiere decir que este modelo de economía circular es ideal para que dichas empresas haga una excelente gestión de sus residuos permitiendo así un adecuado manejo en cuanto a darle valor, comercialización y uno muy apetecido, el uso energético.

5.11. Manejo de residuos sólidos en el Municipio de Tierralta

Para el caso del municipio de Tierralta, departamento de Córdoba, de acuerdo a la Fundación Misión Ambiente (2016) y Plan de cierre, clausura y restauración ambiental del antiguo botadero a cielo abierto del municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba (2021) realizado por la Unión Temporal para el Manejo de Ambiental de Antiguos Botaderos (MAAB), se ha realizado

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 30

planes para darle un manejo adecuado a los residuos sólidos en este municipio, ya que han presentado una problemática al depositar de forma unificada todos los tipos de residuos al inicio en el relleno sanitario con que contaban de manera ilegal, generando contaminación de suelo, aire, aguas, aumento de plagas, roedores, entre otros; y pese a que el relleno sanitario actualmente ha sido cerrado su operación, aunque administrativamente por los entes competentes, la recolección de residuos se está llevando al relleno sanitario de Montería; pese a que estos rellenos sanitarios es una actividad adicional a los servicios públicos de aseo y que existen para controlar el manejo de los residuos y los lixiviados que estos generan, debido a que el proceso se hace por actividad de enterramiento, los cuales deben estar bajo lineamientos normativos; pero resulta que también tienen un tiempo de vida útil, lo que quiere decir que no siempre o por tiempo ilimitado se podrán depositar residuos en un mismo relleno (Fundación Misión Ambiente, 2016). Esto hace que tanto Alcaldías de ambos municipios determinen que plan tendrán que realizar para que a futuro no sea un problema mayor.

VI. ESTADO DEL ARTE

6.1. Residuos sólidos urbanos: una revisión crítica a nivel mundial.

Los residuos sólidos han aumentado en gran cantidad a nivel mundial, lo que exige el desarrollo de crear estrategias que permitan su adecuada gestión para un ambiente sostenible, pues una de las estrategias que permite hacer un llamado a la situación actual de la generación de estos residuos sólidos urbanos es evaluar su ciclo de vida, con el fin de ayudar a la toma de decisiones responsables y a elegir las mejores estrategias que minimicen los impactos negativos al medioambiente; ya que en la actualidad la población municipal total del mundo es de aproximadamente 4.028 millones y está creciendo enormemente (Banco Mundial, 2016). Sin embargo, las Naciones Unidas establecido que a año 2022 existen 8.000 millones de personas en mundo, lo que asegura en aumento progresivo a 8.500 millones para año 2023 y 9.700 millones de personas para el año 2050.

Se prevé que la cantidad de residuos sólidos municipales o urbanos generados por la población que está en 3,5 millones de toneladas/días en 2002, pase a 6,1 millones de toneladas/día en 2025; dado, en gran medida esta generación de residuos y su debido control dependen mayormente de las condiciones sociales, económicas y medioambientales de un país, pues hay muchas practicas inadecuadas como la quema a cielo abierto, el vertido al aire libre y demás vertederos sin estándares de salubridad lo que contribuye a muchos problemas ambientales, como el calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono, la pérdida de recursos naturales, los riesgos para la salud humana; por eso es importante evaluar el ciclo de vida de un producto, desde su adquisición hasta su eliminación, y ver el impacto ambiental que este puede generar durante ese ciclo, y una muestra de ello se puede revisar en la ISO 14040, que hace referencia a la evaluación de ciclo de vida (Banco Mundial, 2016).

Por lo general, muchos países han participado en estudios sobre los residuos sólidos municipales y se ha llegado a una gran respuesta y es que el ciclo de vida de los residuos es de suma importancia para dar gestión, pero que aún falta participación de países y gobiernos que también publiquen estudios sobre sus residuos sólidos municipales, ya que la combinación de las gestión de estos residuos con las 3R ((Reducir, Reutilizar y Reciclar) más ciclo de vida, sería una

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 32

herramienta y estrategia de gran importancia al momento de hacer una buena gestión de sus residuos sólidos (Khandelwa et al., 2019).

6.2. Objetivos de Desarrollo sostenible.

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) revalida los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030 con la intención de lograr un cambio y transición económica estructural hacia un sistema económico más sostenible (Flachenecker & Rentschler, 2018).

Una característica importante de los objetivos es la intención del uso eficiente de los recursos, como pilar esencial para apoyar la visión estratégica a largo plazo de la producción sostenible de las Naciones Unidas (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). La adopción de medidas para promover una utilización más responsable y eficiente de los recursos, por parte de cada uno de los sectores de la sociedad, es fundamental para resolver problemas importantes, como la escasez de recursos y la gestión de residuos sólidos, y motivar el crecimiento sostenible y la innovación hacia una Economía circular (EC), la cual combinada con los ODS sería un aporte esencial para una buena gestión de los residuos sólidos municipales (Aristei y Gallo, 2021).

En la figura 1, se evidencia todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible a los que hace mención el párrafo anterior.



Fig 1. Objetivos de desarrollo sostenible.

Nota: Fuente Unesco. (2022). <https://es.unesco.org/sdgs>.

Adicional Valencia (2020), menciona que la economía lineal empieza a verse amenazada debido a la limitada disponibilidad de recursos naturales, que también está directamente relacionado con el límite que posee el planeta en cuanto a la asimilación de los contaminantes y los residuos sólidos, se reconoce hoy en día que se debe afrontar retos de los modelos tradicionales de consumo: "*tomar-hacer-desechar*"; ya que, en los últimos setenta años, la actividad económica lineal mundial se ha multiplicado a gran escala, y aunque ha traído prosperidad para muchos se sigue alimentando de la extracción de los recursos naturales los cuales son el responsable de más del 90% de la pérdida de biodiversidad y del estrés hídrico, atribuido principalmente a las cadenas de valor, como la alimentación, el entorno construido, la energía y la moda (Fundación Ellen MacArthur, 2021).

Es por eso entonces que las Naciones Unidas (ONU) ha desarrollado grandes cumbres de la tierra, como la cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible donde se aprobó la agenda 2030, la cual tiene como meta presentar el desarrollo de esos ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), en relación a lo social, económico y ambiental, pero que a su vez se ha hecho relevancia a la economía circular como la mediadora para el cumplimiento de esos objetivos en diversos sectores de producción (Acosta & Martínez, 2021).

6.3. Economía Circular a nivel mundial para el manejo de los residuos sólidos.

A nivel mundial la economía circular ha mantenido un crecimiento constante durante los últimos quince años, basándose en investigaciones en ciencias ambientales, ingenierías y ciencias sociales; existen países que cuentan con una mayor producción en este concepto, algunos con más participación que otros debido a investigaciones más desarrolladas (Domínguez, 2021).

Por otra parte, Dangond (2019) hace referencia a un informe publicado en 1972, que ya se hacía mención que debido al incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación y la explotación de los recursos naturales, se alcanzarían los límites absolutos, y es precisamente lo que hoy se sustenta en el cambio climático y la degradación de recursos naturales; es por eso entonces que la economía circular es una gran herramienta que se ha venido utilizando como la mediadora para minimizar las externalidades negativas al medioambiente y para dar el cumplimiento de esos Objetivos de Desarrollo Sostenible en diversos sectores de producción; un ejemplo de ello se muestra en distintas regiones de países de la Unión Europea (EU), como el plan

de EC (Economía Circular) en Aquitania (Francia), los objetivos de cero residuos en Escocia (Reino Unido), el programa de materiales en Flandes (Bélgica), la estrategia integrada para la EC en Renania-Palatinado (Alemania) o el caso de Economía circular en Lipor (Portugal).

Adicional a lo anterior países de la Unión Europea han fomentado por medio de la economía circular la gestión de los residuos sólidos; países como Italia se muestra que el 76.9% de sus residuos son reciclados, Bélgica el 74.7% y en el caso de España el 47.9% de los residuos se coloca en vertederos, los cuales no cumplen con la normativa. un 3.4% se aprovecha en la valorización energética, el 12.6% se utiliza para relleno que cumplen con estándares y el 36% es reciclado; sin embargo, este último cuenta con el Plan para la Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), además del Plan de Acción de Economía Circular (PAEC) para los años 2021-2023, (ambos aprobados en el 2021 y presentados ante la Comisión Europea); la finalidad de estos planes es la creación de nuevas políticas industriales, el manejo de los residuos y suelos, la reducción de consumo de materiales y emisiones de gases de efectos invernadero e incrementar la reutilización (Fernández et al., 2017).

Así la CEPAL (2021) citado por Da Costa (2021), muestran resultados favorables discrepando en porcentajes con España de 17 % para reciclaje, 10 % para térmico, 10 % para biológico y 63 % para relleno sanitario; en los Países Bajos es de 24 % para reciclaje, 49 % para térmico, 26 % para biológico y 1 % para relleno sanitario. En el caso de Alemania el 47 % para reciclaje, 35 % para térmico, 17 % para biológico y 1 % para relleno sanitario (Seguí et al., 2018).

6.4. Breve panorama de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe.

En América Latina la realidad concreta sobre el nivel de generación y manejo sostenible de los residuos sólidos de esta área del mundo arrojan resultados diferente a los reflejados a nivel mundial, donde aproximadamente el 85 % de los residuos sólidos se recolectan en entornos urbanos; muy distintas en función de las ciudades de países como Uruguay o Colombia con una tasa de recolección hasta del 95 %, mientras que en la capital de Haití no sobrepasa el 12 %, ahora bien, menos del 75 % se deposita en rellenos sanitarios, y más del 20 % termina en vertederos abiertos; por último, únicamente un 4 % de los residuos sólidos urbanos se recicla en todo el subcontinente, una cifra muy diferente de otras regiones del mundo, que llegan a superar el 20%, por lo tanto, un desarrollo insostenible para América latina y del caribe (CEPAL, 2021).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 35

Por lo anterior según Sánchez et al. (2019) Es importante y urgente contar con la adecuada gestión de los residuos sólidos, por lo que en América Latina ha hecho un desarrollo sostenible como es la adaptación y la normativa de políticas que llevan a la prohibición de botaderos a cielo abierto, contar con rellenos sanitarios legalmente adaptados, formalizar recicladores que se incorporen a los procesos de gestión integral con el fin de reducir la generación de residuos sólidos; estos autores mencionan que países como México, Argentina y Venezuela, se han encontrado con dificultades en su implementación para hacer una adecuada gestión de los residuos sólidos municipales debido a la falta de continuidad en los gobiernos y la falta de presupuesto, dejando como resultado una gestión de los residuos sólidos municipales ineficaces.

En cuanto a países como Chile, enfrenta una crisis de residuos y contaminación, pese a que se ha hecho una gestión para que se eliminen los residuos sólidos municipales de manera adecuada, ya que estos siguen en aumento y los vertederos oficiales solo tienen 12 años de vida útil, hay baja tasa de reciclaje y cada vez hay más vertederos ilegales; debido a esto Chile crea la “Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040”, pues varios entes del sector público y privado como: Medio Ambiente (MMA), el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON), entre otros, se unieron para dar trámite a este proyecto que es alejar a Chile de una economía lineal y proceder a la economía circular, y para ello definió siete (7) objetivos entre los cuales están: generar más de 100.000 empleos verdes, reducir la generación de residuos municipales per cápita en un 10% al 2030 y 25% al 2040, reducir la generación total de residuos en un 15% para 2030 y 30% para 2040, aumentar las tasas de reciclaje al 40% para 2030 y un 60% 2040 para mantener los recursos en la economía, recuperar los más de 3700 vertederos ilegales del país y la reutilización de las tierras afectadas por estos vertederos en un 50% para 2030 y un 90% para 2040; Por último, sus pilares serán el apoyo de los gobiernos municipales con el financiamiento para la recolección de los residuos, generación de cultura, incentivos a las iniciativas de modelos circulares en las empresas, supervisión y consolidación de las políticas (Schmidt, 2021).

6.5. Economía circular en América Latina.

Se menciona que las economías de América Latina y el Caribe no son tan bien estructuradas como para dar un gran paso a la economía circular, a pesar que existen una serie de iniciativas enfocadas a la centralidad de la circularidad; sin embargo también se debe tener en cuenta que la estrategia es un poco reciente en esta zona del globo terráqueo, aunque algo positivo de que se

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 36

avance en ese camino es que la Unión Europea tiene gran ventaja en la implementación de la economía circular y al tener estrechas relaciones con América Latina y el Caribe se prevé que esto contribuya a que esa región adopte con mayor rigor dichas estrategias; no obstante, lo primero, se debe cambiar una serie de variables que puede hacer de ese camino aún más largo para poder llegar a la economía circular, las cuales son la implementación y/o reforma de las políticas públicas, los sistemas de gestión empresarial, las inversiones, la regulación en materia de residuos contaminantes, las finanzas públicas, los sistemas de financiamiento y, en general, las capacidades de adaptación de las economías latinoamericanas (CEPAL, 2021).

Por otra parte los desafíos que presenta América Latina y el Caribe para la implementación de la economía circular como el método más favorable a la hora de hacer gestión de los residuos sólidos municipales es la falta de inclusión social de los recolectores informales, de residuos, la inclusión de acciones de reparación y reutilización para reducir la generación de residuos, falta de datos con series temporales fiables y una de las más relevantes es la falta de conocimiento de los responsables de la toma de decisiones sobre el uso potencial de los residuos sólidos, lo que podría dar lugar a una transición a favor de la economía de un país, la sociedad y el medio ambiente (Bijos et al., 2022).

Pese a que es incipiente la adaptación de las economías latinoamericanas, son varias las iniciativas que se han hecho en pro de la economía circular, como aprobar políticas que caminen en función de integrar a las economías latinoamericanas en la Economía Circular, en cuanto al uso de los insumos de largo ciclo productivo, prohibir sustancias tóxicas y de nula o escasa reutilización, crear programas de sensibilización y concienciación al consumidor, contar con estándares y etiquetados para productos contaminantes (Da Costa, 2022).

Por otra parte, se destacan actos en busca de esa economía circular como, por ejemplo, en febrero de 2021, con motivo de la celebración del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, se implementó la llamada Coalición de economía circular de América Latina y el Caribe- ALC (Da Costa, 2022). También está el caso de Colombia invitando a estar esperanzados en la economía circular, debido a que cuenta con 800 negocios verdes y la aprobación de más medidas legislativas y ejecutivas como el Decreto 1669 del 12 de septiembre de 2019 (Roza, 2019).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 37

Por su parte, la República de Uruguay como uno de los países de mayor implantación de economía circular, pues en 2018 aplicó el “*Programa Oportunidades Circulares*” con la unión de otros proyectos gubernamentales y de la “*Agencia Nacional de Desarrollo (ANDE)*”, con el fin de profundizar en la transición de la economía nacional hacia la economía circular. También se resalta el caso de Argentina en donde a través de la “*Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*”, ha puesto en práctica el Plan Estratégico Provincial de Gestión de Residuos Sólidos desde la perspectiva de la economía circular, planeando lograr los objetivos de circularidad de forma escalonada, en 2025 y 2035 (Dangond, 2019).

Por último, cabe mencionar que la perspectiva de la implementación de la economía circular en América Latina y el Caribe podría ser positiva, pues esta permitiría en gran parte la activación de sus economías, generando miles de puestos de trabajo, pero para ello lo primero que tendrían que hacer es superar sus retos pendientes como el de generar un marco político legal que estimule a la sociedad civil en cooperar en la creación de economía circular y la adaptación a sus principios, dejar a un lado la percepción que de solo los países avanzados son aquellos que tienen la posibilidad de implementar una economía circular, y por último que los poderes públicos den incentivos de distinta clase para que los entes sociales y económicos asimilen la necesidad de pasar de un modelo de economía lineal a otro de carácter circular (CEPAL, 2021).

Adicionalmente, para ir logrando esa circularidad, deberán vencer otros los limitantes por así decirlo en cuanto a la introducción de nuevas tecnologías de compostaje e incineración, ya que si bien en el compostaje tiene que ver mucho los costes altos de operación y transporte, poca aceptación para la separación en la fuente, ausencias de mantenimiento de equipos industriales, tecnologías inapropiadas; carencia de vinculación con proyectos estratégicos, escasa participación de los sectores formales, etc. (Graziani, 2018).

6.6. Alternativas ambientales para el manejo de residuos sólidos a partir de modelos de economía circular.

Como se ha venido mencionando los residuos sólidos municipales a nivel mundial siguen en aumento, por lo que se ha tomado algunas alternativas para su manejo adoptando la perspectiva de la economía circular, ya que existen varias tecnologías que permiten dar conversión a esos residuos sólidos municipales especialmente en energía teniendo enfoques directos que implica la

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 38

incineración para la recuperación de calor e indirectos que incluye procesos termoquímicos y bioquímicos, siendo este último muy atractivo debido a la variedad de productos valorizados, como el gas de síntesis, el bioaceite, el biochar, el digestato o el humus (Hoang et al., 2022).

En cuanto a las tecnologías que permiten esa transformación de los residuos sólidos municipales o urbanos en energía por calor o electricidad son: la pirólisis, la gasificación, la digestión anaeróbica, la biometanización y la recuperación de gas de vertedero, sirven como tratamientos eficaces para dichos residuos, a la vez que dan lugar a la valorización cuando son tratados por la Economía Circular (EC), ya que optimiza las actividades para minimizar la generación y el consumo de recursos finitos y permite dar paso al gestión sostenible de los residuos sólidos municipales (Hoang et al., 2022).

Por otro lado, Van et al. (2020) se presenta otro enfoque para desarrollar sistemas de gestión de residuos en apoyo a una perspectiva de Economía Circular mediante P-graph (una herramienta de optimización gráfica bipartita), esta permite conocer los enfoques de tratamiento más adecuados para el manejo de los residuos sólidos urbanos, teniendo en cuenta el equilibrio económico como el coste de externalidad; También apoya la política local y la aplicación práctica, que son difíciles de monetizar. Según estos autores, esta herramienta incluye una combinación de separación en origen, reciclaje, incineración (calor, electricidad), digestión anaeróbica (biocombustible, digestato) y el vertedero. Se estima que evita 411 kg de CO₂eq/t de residuos sólidos urbanos procesados y consigue mayores beneficios económicos y adicional favorece el tratamiento biológico mecánico a medida que aumenta el nivel de renta del país; dicha herramienta P-graph es eficaz para la planificación de sistemas de residuos sólidos urbano.

En la figura 2, se da un claro ejemplo de la aplicación de la herramienta P-graph desde una perspectiva de economía circular para dar tratamiento eficaz a los residuos sólidos urbanos.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 39

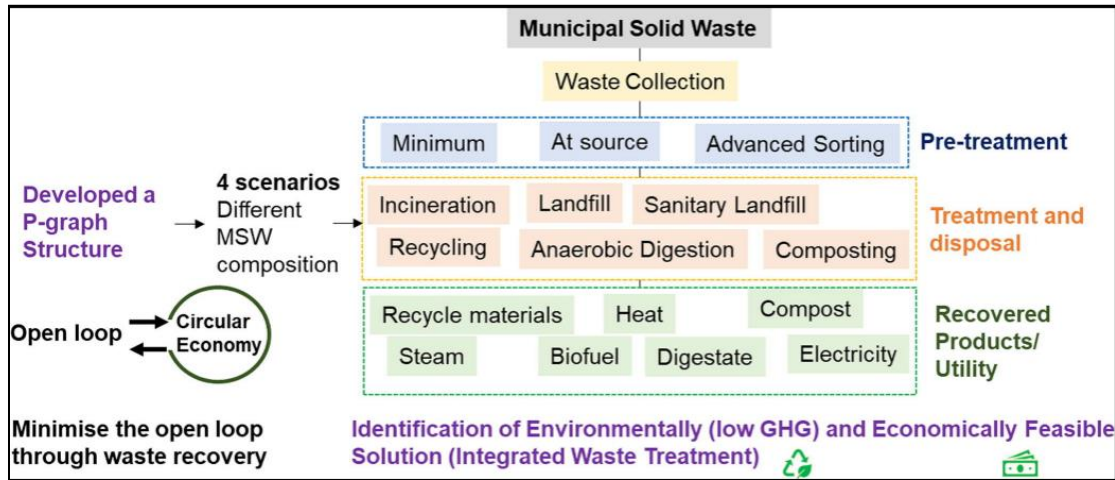


Fig 2. Gestión de residuos sólidos municipales a partir de la herramienta P-graph

Nota: Fuente Van et al. (2020).

Por consiguiente, se resalta a Ecuador que es la tercera economía que más crece en América Latina y uno de los países con menor tasa de desempleo de esa misma región. Cuenta con el plan: “Plan Nacional para el Buen Vivir Bien 2013-2017”, pues dicho plan pretende promover y aumentar la generación de energías renovables sostenibles con el apoyo de otros planes que se llevaran a cabo hasta 2025, los cuales cuentan con la participación del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, en donde también están promoviendo la producción de cultivos energéticos de primera, segunda y tercera generación que se requieren como materia prima para producción de biodiesel; pues dichos planes se pretenden llevar a cabo mediante las estrategias de la economía circular, en donde los residuos sólidos municipales son mezclados con estiércol de ganado para generar la energía a través de la quema de biogás, la cual genera CO₂, que en vez de liberarlo a la atmósfera se usa en procesos de producción de microalgas, convirtiendo el CO₂ en biomasa y oxígeno por medio de la fotosíntesis y también se obtiene biodiesel por la transesterificación y posterior es vendido en el mercado local. También los residuos de las algas que contienen proteínas y carbohidratos se utilizan como alimentos para animales (Vega et al., 2017).

Este proceso incentiva a los agricultores recoger el estiércol del ganado para llevarlo a la planta de biogás, lo cual es toda una estrategia económica y medioambiental que orienta al trabajo en sinergia con las políticas (Vega et al., 2017).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 40

En la figura 3, se muestra un diagrama de flujo de las estrategias antes mencionadas para la producción de bioenergía a partir de los contaminantes emitidos de los residuos urbanos y agrícolas.

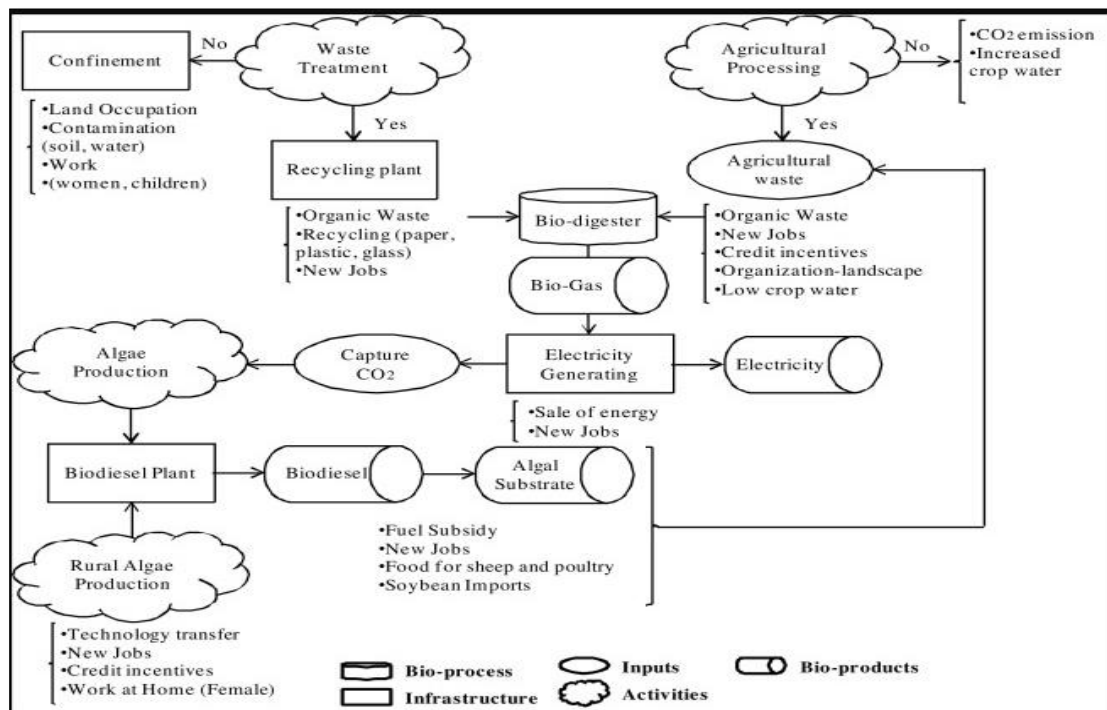


Fig 3. Diagrama de flujo para la obtención de energía a partir de contaminantes de residuos urbanos y agrícolas

Nota: Fuente Vega-Quezada et al. (2017).

Otro caso en Ecuador que presentan Garabiza et al. (2021), son 3 (tres) empresas importantes del país que hacen manejo de sus residuos sólidos a través de economía circular. Se cuenta entonces con Ecocaucho S.A, quien se proyectó en reutilizar los cauchos haciendo convenio con otras industrias para que este sea parte de sus materias primas y posterior transformarlas en nuevos productos (muebles, tapetes, etc). Holcim Ecuador S.A, incorporo tecnologías más limpias y se propuso en la meta de reducir los residuos generados y reutilizarlos en un 80%, convirtiéndose así en pionero en la gestión sustentable de residuos, tanto así que recibe residuos de distintos sectores industriales del Ecuador, como el sector alimenticio, automotriz, petrolero, cosmético, farmacéutico, entre otros. Por último, se cuenta con Arca Continental Ecuador, embotelladora de la empresa Coca Cola, una de las más contaminantes en el mundo por las botellas plásticas, su objetivo es alcanzar en el año 2030 un mundo sin residuos, buscando recoger, reciclar y fabricar botellas 100 % reciclables.

Todo lo anterior se presenta porque tan solo un 6% de residuos es reciclado y aún falta por parte del gobierno hacer gestión en el manejo de residuos sólidos municipales y de allí la necesidad de estrategias mediante un seminario internacional de economía circular para sector público y privado en donde se crea el llamado “libro blanco”, que sirve de guía para implementar en las empresas (Garabiza et al., 2021).

En cuanto a Nueva Zelanda, Debido a que los residuos sólidos urbanos también han sido una problemática, se establecieron modelos a partir de la economía circular para darles una mejor alternativa de gestión, y como primero, tuvieron en cuenta principalmente, la recogida de los residuos sólidos municipales, siendo este proceso fundamental para la gestión y la elección de tecnologías de conversión en energía; adicional que el nivel de ingresos de un país y la región tienen un fuerte impacto en las tasas de recogida de los residuos sólidos urbanos, pero esto va más allá, ya que los residuos en bruto o la "materia prima" tienen un contenido energético bajo siempre y cuando se haga con tecnologías convencionales que se usan en los vertederos y son pequeños por lo que las desventajas serian aun mayor, por lo tanto aplicaron las tecnologías para la pirólisis, la gasificación, la gasificación por plasma y el procesamiento hidrotérmico, las cuales tienen más ventajas que las tecnologías convencionales, pero también cabe mencionar que la clasificación de los residuos a nivel doméstico es importante, ya que solo la parte orgánica debería ser tratada mediante un tratamiento anaeróbico y aquellos como vidrios, metales, papel y plástico deben ser sometida a procesos termoquímicos (Munir et al., 2021).

6.7. Economía circular en la gestión de residuos sólidos en Colombia.

El DANE (2020) reportó para el año 2012 una producción de 456 kilogramos de residuos sólidos per cápita, y para el año 2018 un aumento de hasta 515 kilogramos por habitante; aunque, el aprovechamiento se mantiene entre el 40% y el 50% en el presente. Datos más actuales muestran que en Colombia se producen aproximadamente 26.975 toneladas de residuos sólidos domésticos al día, cerca del 40% podrían aprovecharse (La república, 2019), aunque la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación, menciona que se recicla el 17% (Departamento Nacional de Planeación y Banco Mundial, 2015). Adicional a esto se estima que la generación de residuos aumentará en un 13,4 % para el año 2030 (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 42

Pero adicional a lo anterior Colombia empezó a implementar nuevas políticas públicas a la par de las preocupaciones globales y por el interés de cambiar la gestión tradicional de los residuos “tomar-hacer-consumir-desechar” (Iacovidou et al., 2017; Kirchherr et al., 2017; Ellen MacArthur Macarthur, 2019; Reike et al., 2018) por lo que su panorama de gestión de residuos se ha transformado en las últimas décadas debido a la reestructuración de su marco legal, gracias a impulsores que han tenido influencia en las políticas de gestión de residuos y los cuales impactaron los sistemas de Gestión de Residuos Municipales.

Entre esos impulsores relevantes se cuenta con “sostenibilidad financiera” y el “reciclaje inclusivo”, que han llevado a una gestión de residuos más sostenible en el país; sin embargo, sigue presentando desafíos y aún más para el futuro, ya que si bien esa legislación de gestión de residuos se ha centrado en la Salud Pública y donde el Estado se ha interesado más por los temas económicos al promover la libre Competencia (Calderón et al., 2020).

A partir de la figura 4, se presenta un resumen en línea de tiempo de la principal normativa en cuanto a la gestión de residuos sólidos en Colombia como muestra del interés por el tema.

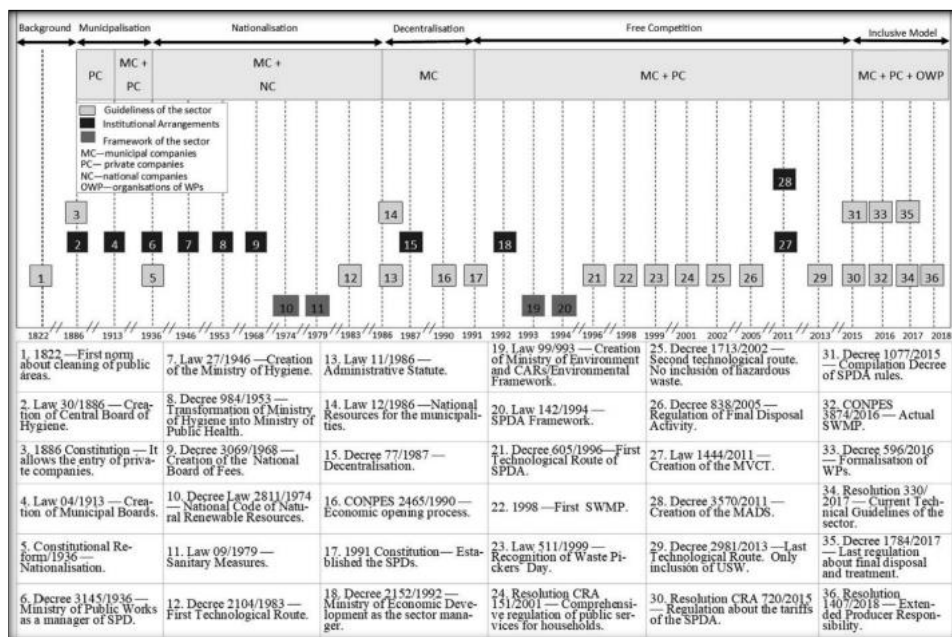


Fig 4. Línea de tiempo de la principal normativa de Colombia para el manejo de residuos sólidos

Nota: Fuente Calderón et al. (2020).

Por otra parte Según Pulgarín & Orozco (2021), en el año 2016 Colombia estableció la Política Pública Nacional para la gestión integral de los residuos sólidos por medio del documento

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 43

CONPES 3874 el cual tiene como enfoque el manejo de dichos residuos a través de la economía circular y el cual había establecido un término de 3 años para que municipios o regiones de difícil gestión por la falta o difícil cobertura en la prestación del servicio público y sitios inadecuados de disposición pudieran haber implementado dicha gestión. Según el informe de disposición final de los residuos sólidos, 2018 de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios-SSPD, en el país se usan diversos sistemas de disposición final, la cual es una actividad complementaria del servicio público de aseo.

En cuanto a los sistemas que se tiene en el país para la disposición de dichos residuos son plantas de tratamiento, celdas transitorias en donde se disponen residuos sólidos en un botadero de cielo abierto por un término de 3 años hasta contar con un relleno sanitario adecuado (Además una de las falencias de hacer una adecuada gestión de los residuos sólidos municipales y de implementar una economía circular es porque en la mayoría los municipios como Medellín en Antioquia, no cuenta con un sistema de recolección que le permitan llegar hasta las zonas más alejadas o los cascos urbanos para dicha recolección y adicional no se cuenta con recursos financieros públicos que permitan inyectar capital para crear estrategias eficientes (Pulgarín & Orozco, 2021).

Sin embargo, el gobierno de Colombia ha creado varias estrategias que permitan involucrar la economía circular para el manejo de los residuos sólidos y aplicarla a diferentes sectores como las organizaciones públicas y privadas, involucrar la comunidad, las ciudades, entre otras. Entre esas estrategias esta: el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) y también se cuenta con el proyecto de áreas protegidas enfocado a la iniciativa de crear biodiversidades en donde se involucra la parte de la gestión de los residuos sólidos a través de la economía circular (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019).

6.8. Casos de estudio en Colombia sobre el manejo de los residuos y la inclusión de la economía circular para su manejo.

6.8.1. Bogotá – Cundinamarca

Sin embargo, existen empresas que le apuestan hacer buena gestión de los residuos sólidos, como es el caso de la empresa Eurofarma S.A encargada de recolectar los residuos sólidos y llevarlos al relleno de doña Juana en Bogotá, en la cual ha formulado estrategias con el fin de evitar al máximo depositar en dicho relleno residuos reciclables o aprovechables (Gracia et al., 2017).

La estrategia es implementada temporalmente como un plan piloto, en la cual fue crear un dispositivo hecho con material reciclable para separación de residuos como plástico y cartón, haciendo caracterización de los mismos, campañas de sensibilización, en donde el propósito es reducir en un 50% los residuos llevados al relleno; con esto identificaron que los mismos empleados internos de la empresa no estaban haciendo una adecuada separación de los residuos (Gracia, A et al. 2017). Y, si bien es cierto que aún queda mucho por hacer en Colombia, hay datos recientes que invitan a estar esperanzados en que la EC (Economía Circular) pueda ser parte constitutiva de la economía del país a mediano plazo, como, por ejemplo, la creación de casi 800 negocios verdes y la aprobación de más medidas legislativas y ejecutivas como el Decreto 1669, del 12 de septiembre de 2019 (Rozo, 2019).

6.8.2. Quibdó – Antioquia

El manejo adecuado de los residuos sólidos municipales en Quibdó no ha sido tarea fácil debido a que no se hace una separación en la fuente, esto se debe mucho a la falta de cultura ciudadana, a la pobreza extrema sin acceso a la educación, falta de capacitación en cuanto al manejo de los residuos, empresas recicladoras que no están legalmente constituidas o no cuentan con la infraestructura y dejan de funcionar pasándole la responsabilidad a unas pocas para la labor de reciclaje y la falta de incentivos económicos (Ortega et al., 2022).

Sin embargo al ver el municipio que los residuos sólidos incrementaban cada vez más, para el año 2017 pasaron de tener 71.64 toneladas/día pasar en el año 2018 a 73.45 toneladas/día, que se iban directamente a rellenos sanitarios, esto puso en marcha la activación de políticas para apoyar los recicladores, ya que esto generaba el desarrollo económico, social y ambiental, implementaron estrategias de reciclaje, compostaje, lombricultivos, incineración y enterramiento de residuos, no obstante, en Quibdó solamente se lleva a cabo el reciclaje, lombricultura y compostaje; también hubo creación y apoyo de programas y entidades como la Fundación Manejo

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 45

Integrado del Medio Ambiente, o MIMA, ha impulsado la gestión mediante el tratamiento de residuos sólidos para la venta de humus de lombriz para compostaje (Ortega et al., 2022).

Por otro lado, se capacita a la policía y ejército en dicho manejo, como también CODECHOCO desarrollaron el proceso de implementación de comparendo ambiental, también se cuenta con el programa “*Quibdo te quiero limpia*”, lo cual capacitan en el manejo de los residuos a comerciantes, vendedores, y en demás instituciones educativas (Ortega et al., 2022).

VII. METODOLOGÍA

7.1. Breve descripción de Tierralta.

De acuerdo al Ordenamiento Territorial (POT) Municipal de Tierralta (2011-2023), Tierralta se encuentra ubicado dentro de la zona media-alta de la cuenca más importante del departamento de Córdoba, además presenta una zona montañosa y de colinas que representa aproximadamente el 70% del territorio; su temperatura media anual es de 29°C, con mínima mensual de 27°C y máxima hasta los 32°C. Las precipitaciones son demasiado abundantes principalmente hacia la zona de la represa URRÁ, pero para el resto del municipio son de menor intensidad a lo largo del año.

Presenta una formación vegetal de bosque húmedo tropical y dentro de su área municipal se encuentran dos importantes áreas protegidas; una de ellas la constituye el Parque Nacional Natural de Paramillo y la otra es la Reserva Forestal del Pacífico (Ley 2ª de 1959).

El municipio concentra el 5.56% de la población departamental, siendo el municipio más extenso de Córdoba. Su densidad poblacional es de 17 habitantes/km², conformado por 42 barrios, de la cabecera municipal, por 18 corregimientos, 234 veredas y un (1) resguardos indígenas Emberá Katio; Su sector económico, predomina la actividad agropecuaria, seguida de la explotación maderera y el comercio informal y formal, así como la actividad artesanal y el ecoturismo como otras fuentes de ingresos del sector rural. (Unión Temporal para el Manejo Ambiental de Antiguos Botaderos, 2021).

7.2. Localización de la zona de estudio

El municipio de Tierralta, se encuentra ubicado en el extremo sur occidental del departamento de Córdoba, a 85 kilómetros de distancia de Montería; al noroccidente de Colombia. En las coordenadas geográficas 8°10'22" de latitud y 76°03'34" de longitud. Limita al Norte con el municipio de Montería (capital del departamento); al Noroccidente con el municipio de Valencia; al Occidente con el departamento de Antioquia; al Sur con el departamento de Antioquia; por el Oriente con el municipio de Montelíbano y por el Nororiente con el municipio de Planeta Rica (POT Municipal de Tierralta 2011-2023). En la figura 5 se observa la localización del municipio.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 47

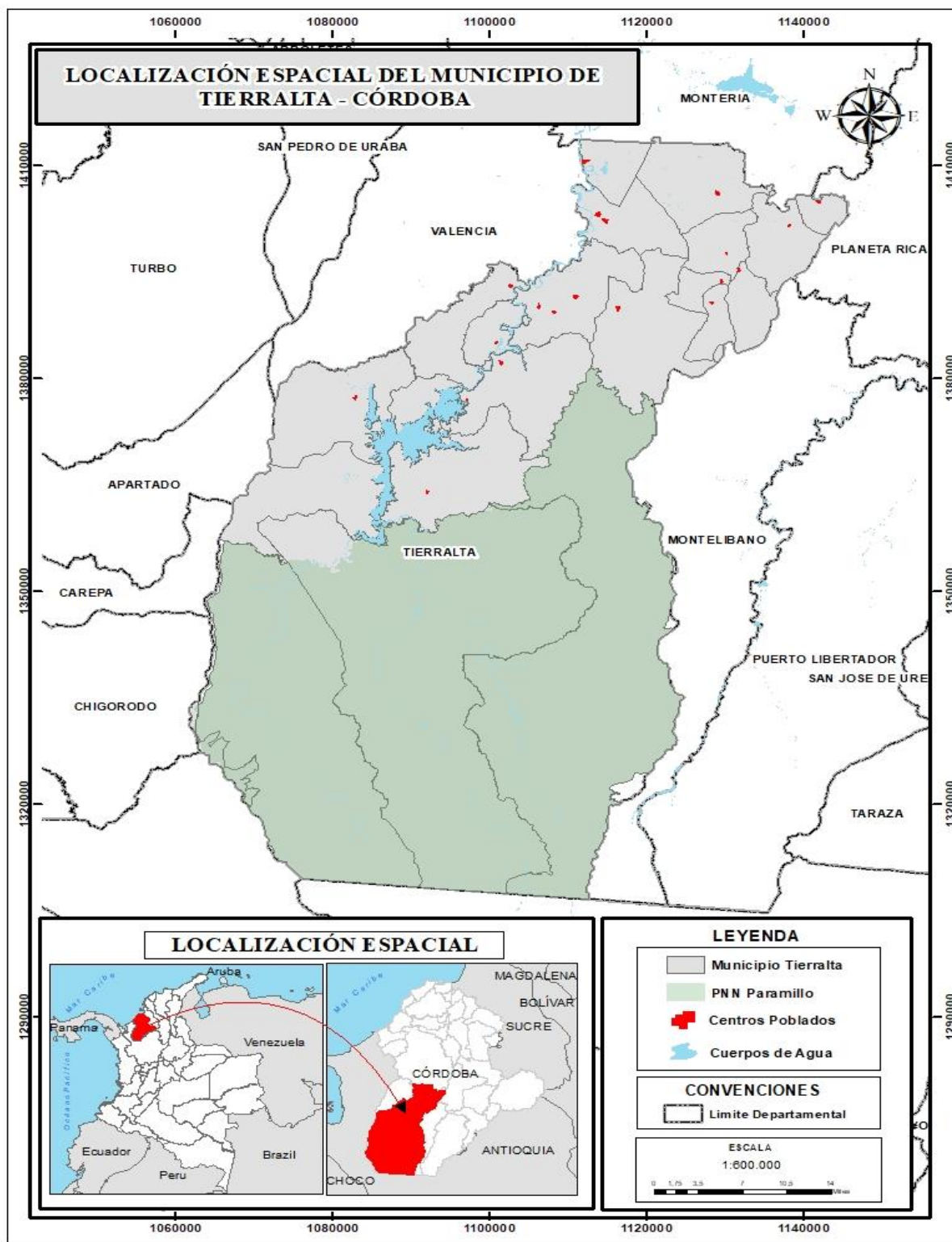


Fig 5. Localización del municipio de Tierralta

Nota: fuente elaboración propia

7.3. Metodología de la investigación

La investigación realizada corresponde a un estudio de tipo descriptivo, según Sampieri et al. (2014), este enfoque busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Adicional la investigación tuvo un enfoque cualitativo, ya que esta permite utilizar la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevos interrogantes en el proceso de interpretación (Sampieri et al., 2014).

Por otro lado, con este trabajo se pretendió inferir sobre las diferentes alternativas para el manejo de los residuos sólidos a nivel municipal teniendo en cuenta los modelos utilizados en diferentes países. La metodología desarrollada fue construida con base en los tres objetivos específicos planteados en la figura 6, los cuales estuvieron ligados al objetivo general.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 49

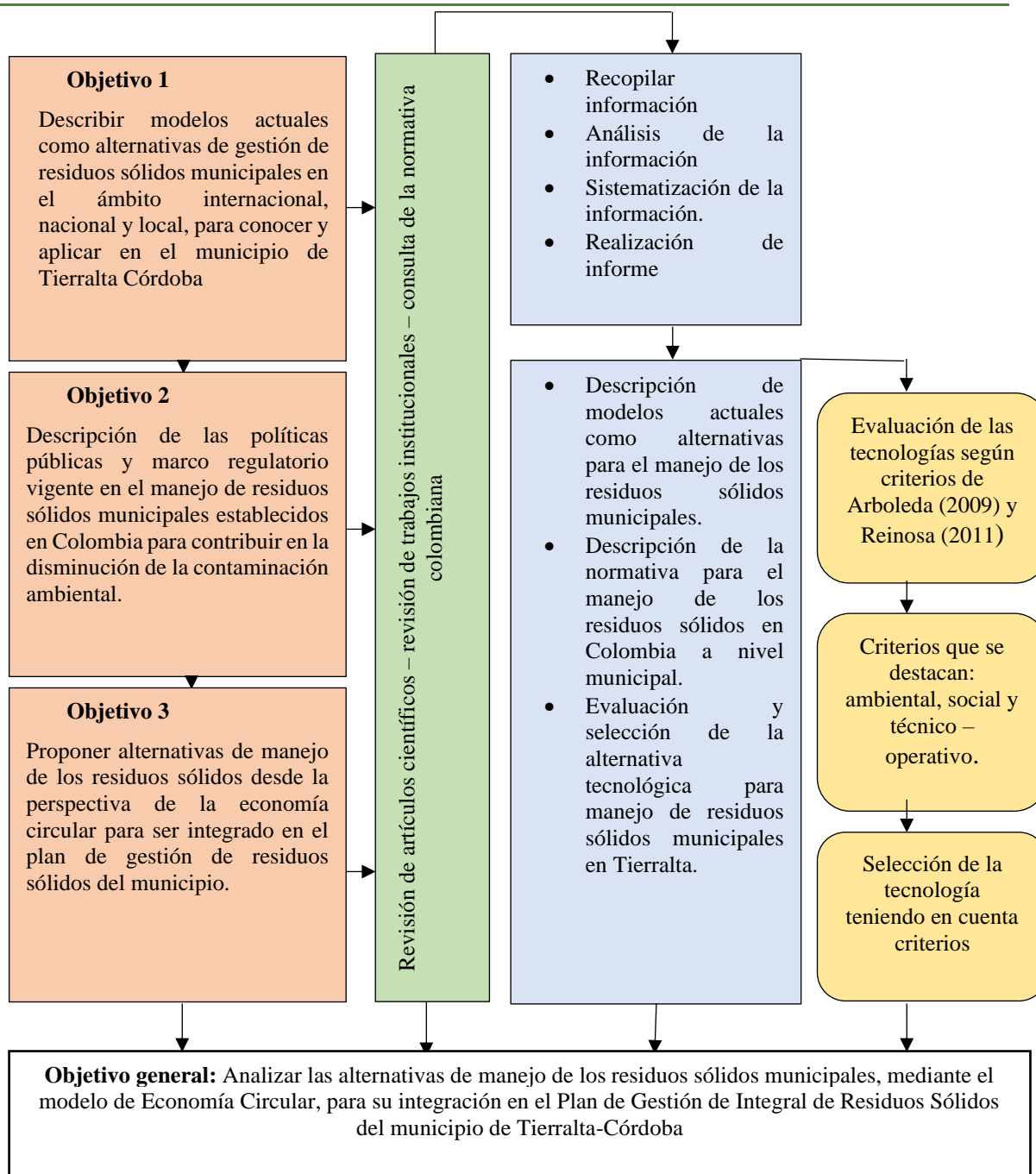


Fig 6. Pasos metodológicos de la investigación realizada

Nota: Fuente elaboración propia

7.3.1. Fuentes empleadas

Las fuentes empleadas fueron primeramente en bases de datos indexadas como Scopus, Sciadirect, Scielo, Springer, Redalyc, y Dialnet; en las cuales se tuvo acceso a través del recurso de información digital de la Universidad de Antioquia. También encontramos información

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 50

relevante en los repositorios institucionales de trabajos de grados de pregrado y especializaciones de universidades de Colombia como: Universidad Militar Nueva Granada, Universidad Cooperativa de Colombia, Tecnológico de Antioquia, instituto universitaria, Universidad de la Salle, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; de Ecuador la Universidad Andina Simón Bolívar, quien cuenta con repositorio de revistas científicas, al igual que el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí de México. Para acceder a los repositorios se hizo a través de Google Scholar y/o directamente de la página de la universidad.

Por otro lado, se obtuvo información por medio de las páginas consultadas directamente en instituciones públicas de Colombia y a nivel mundial, las cuales fueron: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, la Página Función pública para consulta de normas colombianas, el Departamento Nacional De Planeación, en el cual se consultó los documentos CONPES, el DANE, el IDEAM, la página de las Naciones Unidas, repositorio institucional Banco de Desarrollo de América Latina, Refworld y Ellen Marcarthur Foundation. Adicional se logra tener información del PGIRS y algunos planes de manejo ambiental del municipio de Tierralta por medio de la Alcaldía.

Por último, las fuentes más seleccionadas fueron especialmente la de los artículos de las revistas indexadas, dando mayor relevancia a fuentes primarias.

7.3.2. Criterios de búsqueda

Para la consulta se emplearon palabras claves como: Economía circular, manejo de residuos sólidos, problemática de los residuos sólidos municipales, residuos sólidos a nivel mundial, alternativas de economía circular en gestión de residuos, entre otras. Las cuales se muestran en la tabla 1.

Estos motores de búsqueda en su mayoría se emplearon en inglés en las bases de datos indexadas y algunas en español para Google Scholar y la información encontrada en las entidades públicas y los repositorios de las universidades. Por otra parte se tuvo en cuenta que los artículos y/o literatura consultada correspondieran como máximo a los últimos 5 años (2018-2019-2020-2021-2022), para lo cual se emplearon los filtros por fecha que ofrecen las bases de datos, sin embargo la información hallada en esos años en algunas ocasiones no siempre fueron suficiente o no era del tema de interés, por lo que se acudió a años más atrás; pero también dentro de los

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 51

artículos o los documentos se encontraron citas que eran importante mencionarlas y las cuales correspondía tanto esa cita como la fuente de donde se extrajo a años mucho más ambiguos.

Tabla 1. Descripción de los criterios de búsqueda en bases de datos

Criterio de búsqueda	Base de datos	Numero de resultados	Número de artículos seleccionados
Municipal solid waste	Springer	8	1 (libro electrónico)
Circular Economy, New Zealand	ScieceDirect	184	1
Biomass waste, pyrolysis	ScieceDirect	90	2
Energetic recovery of biomass	ScieceDirect	250	1
Municipal solid waste, application to France	Springer	170	1
Waste at recycling centers	ScieceDirect	305	2
Model of municipal solid waste, Brazilian	ScieceDirect	132	1
Latin American, circular economy	ScieceDirect	214	1
The solid waste in Colombia	Scielo	155	2
solid waste, case study	Scielo	131	2
Economía circular, America Latina	Redalyc	67	2
Modelos de valoración, residuos, Colombia	Scopus	8	1
Economía circular, sostenibilidad	Scopus	45	1
Circular Economy, Ecuador	ScieceDirect	123	1
Tecnologías, tratamientos, residuos sólidos municipales	Dialnet	204	1

Nota: fuente elaboración propia

VIII RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. Descripción de modelos actuales como alternativas de gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional, nacional y local, para conocer y aplicar en Tierralta-Córdoba.

8.1.1. Alternativas de gestión de los RSU, en los continentes de Asia, Oceanía y África

A nivel mundial, especialmente en las grandes ciudades de los países de Asia, Oceanía, África, Europa y América Latina, existentes alternativas de gestión de residuos han permitido dar un valor agregado a su gestión, en el cual podemos destacar los siguientes:

8.1.1.1. Japón

Cuenta con un método en donde los residuos sólidos municipales son dispuestos a un vertedero “semi aeróbico”, es decir que dicho vertedero está cerrado y al cual se le inyecta oxígeno pasivamente con el fin de descomponer los residuos y a su vez no se genere tanto gas metano y lixiviado, lo cual se refuerza con la instalación de una chimenea y tapar las zonas afectadas aledañas al vertedero que posterior serán reforestadas; es importante que al vertedero no ingresen residuos hospitalarios (Higuchi, 2021).

8.1.1.2. Nueva Zelanda,

Presenta el uso de algunas alternativas como:

Compostaje: es un proceso biológico aeróbico que se obtiene de la recepción de residuos sólidos orgánicos urbanos, los cuales contienen principalmente: proteínas, lípidos, carbohidratos, lignina y cenizas; se oxidan en presencia de nutrientes y microbios adecuados para hacer compost, agua, dióxido de carbono, sulfato, son también agregados; pero para un rendimiento óptimo del compostaje se puede lograr mediante la manipulación de la formulación de la alimentación del compost como el pH (5,5 a 8,0), porosidad (35 a 50 %), tamaño de partícula (aproximadamente 15 mm), humedad (50 a 60 %), y equilibrio de nutrientes en términos de la relación carbono (C)-nitrógeno (N) y los parámetros del proceso, por ejemplo: temperatura (40–65 °C), concentración de oxígeno (entre 15 y 20%) y contenido de agua. El compostaje puede liberar entre 3 y 18 MJ de energía final por kg de desechos orgánicos. Las condiciones óptimas de digestión anaeróbica incluyen una tasa de carga orgánica de aproximadamente 10,1 g COD/L por día (Munir et al., 2019).

Pirolisis: es un proceso de tratamiento termoquímico en el que los residuos sólidos urbanos se degradan a aproximadamente a 300–800 °C en ausencia de oxígeno o aire para producir aceite de pirolisis, gas de síntesis y residuos sólidos (por ejemplo, biocarbón); se debe hacer una separación de metal, papel y vidrio para el resto de residuos pasar a una trituradora que luego recibirá tratamiento térmico (pirolisis reactor por carbón) donde luego pasa a un enfriador y calor para separar gases y aceite de pirolisis (velocidad de calentamiento: 10–200 °C por segundo y tiempo de residencia: 0,5–10 s) es adecuada para obtener un mayor rendimiento de aceite de pirolisis para generar energía. (Tripathi et al., 2017; Carrier et al., 2012).

Gasificación por plasma: los residuos sólidos son sometidos a temperaturas extremadamente altas de 2000 a 14 000 °C de plasma con una cantidad controlada de oxígeno, vapor o aire para producir gas de síntesis como principal factor producto y CO₂ como producto minoritario. Tienen lugar a cuatro procesos principales: deshidratación o secado de los residuos sólidos urbanos; pirolisis o desvolatilización en ausencia de oxígeno para liberar volátiles de los residuos sólidos urbanos y producir carbón; combustión con oxígeno para liberar energía; y reducción para producir gas de síntesis (Munir et al., 2019).

8.1.1.3. Marruecos

En Marruecos el método de digestión anaerobia, resulta muy efectivo, puesto que según Naimi et al. (2017) el 67% de los residuos urbanos generan la fermentación como se describe a continuación:

Digestión anaerobia: este método es efectivo, ya que en su primera fase es separar material ferroso) y reducción de tamaño de los residuos, luego se adiciona agua y nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales), ajuste de pH al 6,8 y calentamiento entre 55 y 60°C; esto se lleva a cabo en un birreactor de flujo continuo, cuyo contenido se mezcla completamente (Afila, 2013). En la mayoría de las operaciones el contenido de humedad y los nutrientes requeridos se añaden a los residuos que se van a procesar; luego se procede a la captura, almacenamiento y, si es necesario la separación de los componentes gaseosos (el biogás se genera directamente de la materia fermentada) y la producción de hidrogeno se genera del pretratamiento térmico (Naimi et al., 2017).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 54

En cuanto a la **incineración** es el mismo proceso presentado en Francia, a diferencia de Marruecos según Cheng en el año 2007 indica que desde tiempo atrás el gas de combustión que se obtiene de todo el proceso de incineración es usado en sistemas de calefacción urbana, para calefacción de agua caliente para domicilios o se distribuyen en instituciones públicas (hospitales, piscinas, negocios, etc).

8.1.2. Alternativas de gestión de los RSU, en el continente europeo.

8.1.2.1. Francia:

Los residuos sólidos municipales son gestionados a través de la incineración, la cual consiste en llevar estos residuos a un horno a 850-900°C, para recuperar calor del gas, el cual se envía a una caldera que produce vapor de agua, dicho vapor se utiliza para recuperar el calor y producir electricidad mediante un proceso de cogeneración (proceso en el cual se obtiene energía eléctrica y térmica), luego el gas de la caldera es descontaminado, el cual contiene: (SO₂), cloruro de hidrogeno (HCl) y fluoruro de hidrogeno (HF), dioxinas, compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de mononitrogeno (NO_x; termino genérico para el dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO), los cuales pueden ser emitidos a la atmosfera (Déchaux et al., 2017; Koehler et al; 2011).

8.1.2.2. España

Para el 2018 el 51% del total de los residuos sólidos urbanos se enviaron a vertederos, 4.057 toneladas, 18,3% se reciclaron, 3.942 toneladas, 17.7% se convirtieron en compostaje, y 2.898 toneladas (13%) se incineraron para producir energía (Eurostat, 2020). España depende casi el 73,9% del combustible necesario para generar energía primaria no renovable del extranjero (Medina et al; 2021).

Concretamente en la ciudad de Barcelona, se llevan a cabo diferentes procesos para la gestión de los residuos sólidos municipales, por medio de la recogida selectiva, la cual utiliza 5 tipos: contenedor amarillo para recoger envases ligeros, contenedor azul para residuos de cartón y papel, contenedor verde para residuos de vidrio, contenedor marrón para residuos orgánicos y contenedor gris para residuos que no han sido recogidos selectivamente. Luego pasan a la instalación de valorización integral de residuos compuesta por una Planta de Tratamiento Mecánico-Biológico, donde se pretratan los residuos; la instalación de recuperación de energía se encarga de la gestión, tratamiento térmico y eliminación de los residuos sólidos urbanos y/o

municipales; dicha planta de Tratamiento Mecánico-Biológico cuenta con tres líneas de tratamiento (compostaje, biogás e instalación de recuperación de energía) con una capacidad total de 360.000 toneladas de residuos tratados al año, lo que supone la generación de 200.000 MWh de energía al año y la producción de 150 ton/h de vapor. En 2017, la producción de electricidad fue de aproximadamente 535 kWh/tonelada tratada, y la producción de vapor fue de 0,259 toneladas/tonelada tratada (Medina et al., 2021).

8.1.3. Alternativas de gestión de los RSU, en el continente de América Latina

8.1.3.1. Brasil

Presenta un tratamiento mecánico, ya que manualmente se seleccionan los residuos que tiene valor comercial como el aluminio y papel, luego son depositados a otro sistema donde los residuos son secados y se hace extracción de los residuos orgánicos para ser usados en compostaje. Los demás residuos son incinerados y reducidos a cenizas liberando calor a generación de energía; por otra parte los costes de operación y mantenimiento para el tratamiento de los residuos sólidos municipales se sitúan entre 50 y 110 dólares por tonelada métrica, cumpliendo con las mejores prácticas rigurosas de producción y control de emisiones, y en cuanto a los excedentes de cenizas de la quema de los residuos, se queman a altas temperaturas en sistemas cerrados donde los gases se lavan, filtran y se someten a largos períodos de residencia lo suficiente como para romper los componentes químicos (Neto et al., 2020).

8.1.3.2. Ecuador

Cuenta con una alternativa para el manejo de los residuos sólidos urbanos, los cuales son tratados a través de una planta de biogás que consta de una biotecnología como el biodigestor, el cual es uno de los componentes esenciales de dicha planta; Como primero se requiere contar con cultivos energéticos como el Aceite de palma, microalgas en estanques abiertos y microalgas en fotobiorreactores laminares, en donde los residuos sólidos urbanos pasan a un lugar de tratamiento con el fin de separar los residuos de reciclaje (vidrio, cartón, papel, etc.) y el resto ser mezclados con estiércol de ganado, que posterior pasan a un biodigestor que también contiene desperdicios agrícolas, luego de allí se obtiene el biogás, el cual genera bio-energía y a su vez emite CO₂ que posterior es capturado para ser utilizado en el proceso de producción de microalgas, convirtiendo el CO₂ en biomasa y oxígeno a través de la fotosíntesis; por lo tanto la biomasa obtenida de la producción de microalgas se procesa mediante licuefacción termoquímica. Este proceso permite la

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 56

separación de lípidos de proteínas y carbohidratos para producir biodiesel a través de la transesterificación (Vega et al., 2019).

En la tabla 2 se presentan los modelos de las alternativas antes descritas en cada país para el manejo de los residuos sólidos municipales con cada fase que requiere el modelo para llevar a cabo el proceso productivo de la gestión de los residuos y adicional se muestran las ventajas y desventajas más importantes, ya que finalmente el objetivo de adoptar de cada modelo es tener un manejo adecuado a los residuos sólidos municipales desde un enfoque ambientalmente responsable.

Tabla 2. Modelos de alternativas para la gestión de residuos sólidos municipales en el ámbito internacional.

País	Modelo	Descripción de las fases de los modelos	Ventajas	Desventajas
Japón	Vertedero semi-aeróbico" (método de Fukuoka).	<p>Proceso:</p> <p>Fase 1: recolección y clasificación de los residuos hospitalarios para que no sean ingresados al vertedero.</p> <p>Fase 2: disposición de los residuos sólidos municipales a un vertedero "semi aeróbico", es decir que está cerrado y al cual se le inyecta oxígeno.</p> <p>Fase 3: generación de biogás</p>	<p>El método es económicamente viable.</p> <p>Mejora la calidad de lixiviado a un ritmo más rápido.</p> <p>La descomposición aeróbica de los desechos sólidos es generalmente más rápida que la descomposición anaeróbica.</p>	<p>Se debe contar con grandes cantidades de residuos de compuestos orgánicos putrescibles para que se produzcan reacciones de degradación exotérmica.</p> <p>Se deben instalar chimeneas de captación de lixiviado</p>
Autor: Higuchi, 2021				
Nueva Zelanda	Compostaje	<p>Se requiere:</p> <p>Fase 1: recolección de residuos orgánicos urbanos, recepción de los residuos y reducción de tamaño.</p> <p>Fase 2: formulación de la alimentación del compostaje (pH, porosidad, tamaño de partícula, humedad y equilibrio de nutrientes.</p> <p>Fase 3: liberación de energía.</p>	<p>El compostaje se utiliza como fertilizante y acondicionador del suelo y regulador del mismo.</p> <p>Requiere una inversión de capital inicial más baja y un costo de cumplimiento medio.</p> <p>Reduce los riesgos de contaminación.</p> <p>Aumenta los ingresos de los productos de compostaje.</p>	<p>Proceso lento que ocupa terreno.</p> <p>Tiene capacidades limitadas para manejar desechos peligrosos.</p> <p>La reducción del volumen de residuos sólidos urbanos es baja (aproximadamente 40%).</p> <p>Consume aproximadamente 2.7–3.2 kg de equivalente de petróleo por tonelada de residuos.</p>
Autor: Munir et al., 2019 y Ziembra & Peccia, 2011				
Nueva Zelanda	Pirolisis	<p>Tratamiento termoquímico, el cual consiste en:</p> <p>Fase 1: recolección de residuos sólidos urbanos, recepción y separación (metal, papel, vidrio).</p> <p>Fase 2: trituración de residuos.</p> <p>Fase 3: degradación de residuos sólidos urbanos (300-800°C).</p> <p>Fase 4: producción de aceite de pirolisis, gas de síntesis y residuos sólidos (bicarbon).</p>	<p>Es una tecnología flexible que puede tratar diferentes tipos de materias primas (por ejemplo: secas, húmedas, biomasa, lodos).</p> <p>Puede reducir significativamente el volumen de los residuos sólidos municipales (aproximadamente un 84 %).</p>	<p>Incluyen costos operativos y de capital más altos, la necesidad de personal calificado para operar.</p> <p>Requiere alta preparación para el personal y tecnologías.</p>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 57

País	Modelo	Descripción de las fases de los modelos	Ventajas	Desventajas
		Fase 5: generación de energía.		
Autor: Tripathi et al., 2017 & Carrier et al., 2012				
Nueva Zelanda	Gasificación por plasma	<p>Requiere someter los residuos sólidos urbanos a temperaturas extremas, sus fases son:</p> <p>Fase 1: recolección de residuos sólidos urbanos, recepción y retirar residuos de plástico, vidrio y papel.</p> <p>Fase 2: trituración para reducción de tamaño.</p> <p>Fase 3: aplicación de gasificador para carbonizar los residuos.</p> <p>Fase 4: aplicar calor para generar combustible y energía.</p> <p>Fase 7: aplicar enfriador para limpieza de gases.</p>	<p>Puede producir más energía neta que la gasificación convencional: aproximadamente 63–81 kg por tonelada de residuos sólidos municipales.</p> <p>Produce un gas combustible que puede integrarse con motores alternativos o con combustible celdas para convertir de manera eficiente el gas combustible en energía eléctrica.</p> <p>Reduce un volumen significativo de residuos sólidos municipales (aproximadamente 80–90 %)</p> <p>La gasificación por plasma es una técnica emergente con potencial de crecimiento en la valorización energética de los residuos sólidos urbanos.</p> <p>Es amigable con el medioambiente</p> <p>Es un método efectivo.</p>	<p>El gas combustible producido durante la gasificación contiene alquitrán, cenizas, partículas y metales pesados que pueden aglomerarse en el gasificador y son peligrosos para el medio ambiente (Cabe mencionar que el alquitrán y otros hidrocarburos pesados resultan de operar en un rango de temperatura de 850–900 °C; a una temperatura superior a 1100 °C, el alquitrán no estará presente)</p> <p>El proceso tiene niveles de preparación de la sociedad, el cliente y la tecnología bajos-medios</p>
Autor: Munir et al., 2019				
Marruecos	Digestión anaerobia e incineración	<p>El método consiste en:</p> <p>Fase 1: recolección, separación y recepción de residuos sólidos urbanos</p> <p>Fase 2: separación de material ferroso y reducción de tamaño del resto de los residuos.</p> <p>Fase 3: adición de agua y nutrientes, ajuste de pH, calentamiento y luego pasar por un birreactor de flujo continuo.</p> <p>Fase 4: captura, almacenamiento y, si es necesario la separación de los componentes gaseosos y la producción de hidrogeno.</p> <p>Fase 5: dar como resultado la creación de metano, el cual será utilizado como gas natural o transformado en gasolina y fuel oil.</p> <p>La incineración: los residuos pasan a un horno con altas temperaturas, así como se describe en las fases de la incineración aplicada en Francia.</p>	<p>La huella de carbono de estas energías es muy baja.</p> <p>Permite una reducción del tonelaje de residuos acumulados.</p> <p>Los recursos de biomasa son muchos y variados (agricultura, bosques, medios marinos y acuáticos, setos, parques o jardines, industrias y actividades humanas...)</p> <p>Cada proceso de valorización permite ahorrar en materias primas y contribuye directamente al respeto y salvaguardar el ambiente</p> <p>Permiten reducir los residuos en un 90% en volumen y una alternativa al vertedero y el reciclaje son métodos complementarios</p> <p>gran potencial calorífico de la incineración</p> <p>La digestión anaerobia tiene una amplia facilidad de aplicabilidad en el mundo.</p> <p>Con la digestión anaerobia las centrales térmicas tienen un rendimiento de unos 35% y 45%.</p>	<p>Implica la construcción de vertederos y la integración de la población de los barrios.</p>
Autores: Naimi et al., 2017; Zhong et al., 2015				

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 58

País	Modelo	Descripción de las fases de los modelos	Ventajas	Desventajas
Francia	Incineración	<p>Proceso:</p> <p>Fase 1: Los residuos sólidos municipales son recolectados y llevados a un horno a 850-900 °C. para recuperar calor del gas</p> <p>Fase 2: los residuos del horno pasan a una caldera que produce vapor de agua</p> <p>Fase 3: el vapor de agua es utilizado para recuperar calor y producir electricidad mediante un proceso de cogeneración.</p> <p>Fase 4: el gas de la caldera es descontaminado, el cual puede generar emisiones a la atmosfera.</p>	<p>La incineración en Francia respeta los límites de emisión de contaminantes establecidos por normativas francesas y de la UE.</p> <p>El modelo se puede combinar con el modelo de incineración de ecoinvent para reducir las emisiones de gases.</p> <p>Cada planta de incineración en Francia es adaptada a las características de los residuos sólidos municipales generados en cada región.</p>	<p>Presenta los mismos límites que una incineración convencional, ya que comienza con la introducción de residuos a la planta de incineración y finaliza con las emisiones al aire, agua y suelo</p>
Autores: Déchaux et al., 2017; Koehler et al 2011				
España	Planta de Tratamiento Mecánico-Biológico	<p>Fase 1: recogida selectiva de residuos sólidos urbanos (según el residuo se deposita en un contenedor de color).</p> <p>Fase 2: los residuos reciclables pasan por una instalación de recuperación de materiales y luego a un remanufacturador (mejorar calidad del producto).</p> <p>Fase 3. Residuos orgánicos van a la planta digestora para generar compostaje. Fase 4. Residuos residuales son enviados a la planta de tratamiento mecánico – biológico para crear compostaje, biogás y energía por medio de vapor</p> <p>Fase 5. Excedentes de residuos como ceniza y residuos rechazados del remanufacturado pasan al vertedero.</p>	<p>La metodología utilizada puede aplicarse universalmente.</p> <p>Generar energía puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Se reduce el envío de residuos sólidos urbanos a los vertederos</p> <p>La agilización de los tiempos de producción y la flexibilización de las respuestas, permiten la reducción de los costes</p> <p>La generación de energía por medio de residuos sólidos urbanos es rentable y económico.</p>	<p>Reto en la generación de una cultura de: reducción, reutilización y reciclaje de residuos es necesario invertir en personal cualificado en los sectores social y de la comunicación.</p> <p>Generación de material particulado por la ceniza generada en la producción de energía.</p>
Autores: Medina et al; 2021; Ibrahim, 2020.				
Brasil	tratamiento mecánico-biológico	<p>Fase 1: recolección de los residuos sólidos municipales.</p> <p>Fase 2: verter los residuos a un búnker donde manualmente se hace separación de aquellos residuos con valor comercial (plástico, aluminio, papel)</p> <p>Fase 3: los residuos son secados y luego se hace extracción de los residuos orgánicos para ser usados en compostaje.</p> <p>Fase 4: los demás residuos son incinerados y reducidos a cenizas liberando calor a generación de energía</p>	<p>Las cenizas como los gases deben atender los requisitos de la legislación en Brazil.</p> <p>Las cenizas generadas de la quema de los residuos son recibidas para los pavimentos.</p> <p>La electricidad representaría un 25% y un 17% proveniente del servicio de tratamiento de residuos sólidos municipales que se brinda a las ciudades.</p> <p>Genera empleo</p>	<p>Todas las instalaciones utilizarían algunos recursos de la economía. economía, como los servicios públicos (gas, agua, limpieza urbana) y de mantenimiento,</p> <p>Genera más costo de mano de obra debido a que la clasificación es manual.</p> <p>Se deben considerar tecnologías que puedan cumplir con un estándar más restrictivo, como el europeo en cuanto a emisiones</p>
Autores: Neto et al., 2020				
Ecuador	Planta de biogás	<p>Se requiere cultivos energéticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aceite de palma -Microalgas en estanques abiertos 	<p>Permite el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos y</p>	<p>Se requiere grandes volúmenes de residuos para</p>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 59

País	Modelo	Descripción de las fases de los modelos	Ventajas	Desventajas
		-Microalgas en fotobiorreactores laminares. Pasos: Fase 1: recolección, recepción de los residuos sólidos urbanos y separación de los residuos reciclables (vidrio, cartón, papel, etc) Fase 2: el resto de residuos son mezclados con estiércol de ganado y desperdicios agrícolas. Fase 3: generación de biogás, se obtiene energía y se captura el CO2 emitido. Fase 4: se convierte el CO2 en biomasa y oxígeno. Fase 5: la biomasa obtenida se procesa mediante licuefacción termoquímica para producir biodiesel.	agrícolas bajo un enfoque de economía circular. Ayuda a la generación de nuevos empleos. Es amigable con el medio ambiente y tiene una mayor interacción con otros sectores productivos La producción de bioenergía es una importante iniciativa mundial para aumentar la seguridad energética y mitigar el cambio climático. Es económicamente viable y puede tener un futuro prometedor.	aumentar la eficiencia del modelo. Es altamente intensiva en el uso de la tierra Se debe trabajar en conjunto con los entes gubernamentales para hacer una buena gestión de los residuos sólidos urbanos y agrícolas con el fin de sacar el mayor provecho y sostener la planta de biogás.
Autores: Vega et al., (2017)				

Nota: Fuente, elaboración propia

Una vez analizadas las alternativas de manejo de residuos sólidos urbanos, se observa no solo el avance tecnológico sino político en la gestión de RSU en los diferentes países del mundo, de modo que, son pioneros en las alternativas ambientalmente sostenibles. La figura 7 muestra en porcentajes la recuperación y disposición final de los residuos sólidos en los países antes mencionados, y pese a que el dato es del año 2013, es un claro ejemplo para determinar cómo estos países le apuestan a una buena gestión de los residuos sólidos municipales y demás sectores económicos enfocada en una economía circular

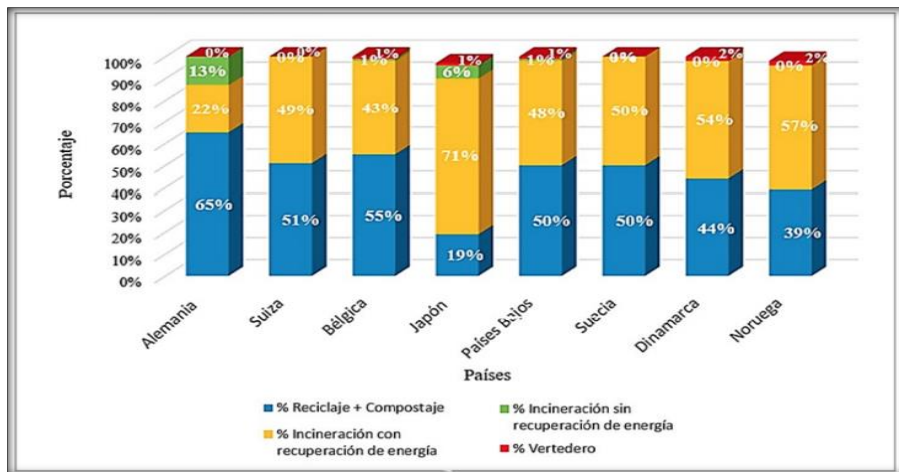


Fig 7. Porcentajes de recuperación y disposición final de residuos sólidos, periodo 2013

Nota: Fuente Segura et al., 2020 tomado de OECD (2015)

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 60

De acuerdo a lo anterior, países como Alemania, muestra una jerarquía para la gestión de los residuos: 1. Prevención de residuos, 2. Preparación para reutilización, 3. Reciclaje, 4. otras operaciones de recuperación, en particular de energía, 6. Eliminación; y adicional los que fabrican, venden o procesan productos, deben cumplir con los principios de la economía circular (Germany, 2012). Suiza, evita mayoritariamente la creación de residuos y fomenta el reciclaje; también cuenta con el principio de quien contamina paga, lo mismo que para su eliminación, la cual se realiza por medio de plantas especiales de incineración para recuperar energía y materiales de residuos biogénicos, asimismo cuenta con plantas de biogás y compostaje y vertederos de última generación (Swiss Federal Council, 2018).

Por su parte Bélgica, tiene políticas similares a las de Alemania, además se prohíbe la incineración y residuos reciclables en vertederos; cuenta con estrategias de eco diseños en los productos; mientras que Japón, este país cuenta con una legislación semejante a la de Europa, así como también con el principio de las “3Rs”, “Jerarquía de los residuos” y “Economía Circular”; este país no le apuesta tanto al reciclaje, sino que aparte de los vertederos anaerobios referenciado anteriormente, también trabajan en alternativas de incineración, presentando las mayores plantas de este tipo, generando energía eléctrica para sostenimiento de su territorio y vender a otros países (Yolin, 2015).

En Países Bajos, en cada etapa productiva de un producto se busca evitar desechos, hacer reciclaje y reutilización, con el propósito de reducir la mayor cantidad de residuos lleguen a los vertederos, además el tema de las etiquetas de los productos holandeses deben ser simples y transparentes, e incluir temas relacionados al impacto ambiental; también cuenta con plantas de incineración (European Environment Agency, 2016). Asu vez que Suecia y Dinamarca, también tiene la prioridad es la prevención de estos residuos por medio de estrategias legislativas y educativas; se enfoca en la reducción de desperdicios, cuenta con sistemas para el retorno de envases, impuesto sobre el vertido de residuos y sistemas subterráneos para la recolección de residuos, aunque este último le apuesta a incinerar menos a diferencias de algunos países ya mencionados (Avfall Sverige, 2017; The Danish Government, 2015).

Para terminar, con la gestión de residuos en el ámbito internacional se tiene que, en Noruega, la política es prioritaria en un sistema de ciclos cerrados, que va de la mano con la economía

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 61

circular, cuenta con consumo y productos sostenibles, estrategias de reciclajes, aprovechamientos y tratamientos a través de plantas de compostaje y producción de biogás, incineración con fin energético y disposición en vertederos (Lausselet et al., 2016).

Adicional se expone la figura 8 con el fin de resumir el panorama de gestión de los residuos sólidos municipales en algunos países de Latino América en comparación con los países anteriormente nombrados, los cuales se observan en la figura 5, y conocer como están en materia de reciclaje Colombia está por encima de los demás países; mientras que en la generación de compostaje no se muestran ningún tipo de avances, lo que evidencia una gestión ambiental poco integral.

País	No. Habitantes	Generación de Residuos Sólidos Municipales	% de material reciclado	% de compostaje	Total	Año
Argentina	42.981.515	17.910.550	6%		6%	2014
Bolivia	10.724.705	2.219.052	12.1%	0.4%	12.5%	2015
Brasil	205.962.108	79.889.010	1.4%	0.2%	1.6%	2015
Chile	17.910.000	7.530.879	0.4%	0.4%	0.8%	2009
Colombia	48.653.000	13.475.241	17.2%	-	17.2%	2011
Cuba	11.303.687	2.692.692	9.5%	-	9.5%	2007
Ecuador	16.144.368	5.297.211	12.9%	-	12.9%	2015
México	125.890.949	53.100.000	5.0%	-	5.0%	2015
Perú	30.973.354	8.356.711	4.0%	-	4.0%	2014
Puerto Rico	3.473.181	4.170.953	14%	-	14.0%	2015
República Dominicana	10.528.394	4.063.910	8.2%	-	8.2%	2015
Uruguay	3.431.552	1.260.140	8.0%	-	8.0%	2015
Venezuela	29.893.080	9.779.093	-	-	-	2012

Fig 8. Generación de residuos sólidos municipales en países de Latinoamérica.

Nota: Fuente Kaza et al., 2018

En síntesis, para llevar a cabo un método de gestión de residuos sólidos urbanos y/o municipales, dependerá en gran parte en fijar los actores, políticas, recursos, infraestructura, métodos de tratamiento y aprovechamientos, todo esto con el fin de aportar menos impactos negativos al medio ambiente (Segura et al., 2020).

Sin embargo según Kaza et al. (2018), es un reto para los países de América Latina contar con métodos actuales para la gestión de los residuos sólidos municipales e incluso empresariales, ya que las cifras muestran: para el uso de vertederos no especificados un 1,5%, relleno sanitario 52%, vertedero controlado 15%, vertedero abierto 26%, reciclaje 4,5% y para digestión anaerobia,

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 62

incineración compostaje no se evidencia datos, lo que significa que en la gran mayoría de países como se observa en la figura 8, siguen usando métodos tradicionales para la gestión de sus residuos sólidos, lo que demuestra esto que el camino hacia una economía circular sigue estando lejos.

8.1.4. Modelos de actuales de alternativas de gestión de residuos en Colombia.

Las políticas actuales en materia de gestión integral de residuos sólidos en Colombia se caracterizan por la poca articulación entre los sectores involucrados, lo que ocasiona que el sistema económico del país sea lineal (CONPES 2016). Sin embargo, En el año 2016, Colombia estableció la Política Pública Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos por medio del documento CONPES 3874, el cual se enfoca en estrategias de minimización, como el reúso, reciclaje y aprovechamiento de residuos sólidos, que conduzcan a la aplicación del concepto de economía circular, al tiempo que se reconoce que poner en práctica una economía circular es un proceso que demanda tiempo y un escalamiento gradual en educación, cultura ciudadana, reconversión de procesos, tecnologías e innovación.

Con respecto a la disposición final de los residuos sólidos en Colombia, para el año 2005 la superintendencia de servicios publico domiciliario (SSPD), realizo un registro de los máximos históricos que se disponían en sitios no autorizados, determinando que 115 municipios, correspondiente al 10% de los 1102 que existen en el país deponían aproximadamente 248.309 toneladas anuales en lugares no actos para la disposición, tratamiento de gases y lixiviados (Yhorman & Orozco, 2020).

En el año 2020 se dispusieron 32.580,96 Ton/día de residuos sólidos presentados en el marco del servicio público de aseo en el país, las cuales aumentaron en un 0,89% respecto al año 2019. Del total de toneladas diarias dispuestas el 45,23% corresponde a las 8 ciudades con mayor población: Bogotá D.C., Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, San José de Cúcuta, Soacha y Soledad (SUI 2020).

Actualmente, se encuentran varios tipos de sistemas para la disposición final o tratamientos de residuos sólidos urbanos, los cuales, en el año 2020 fue elaborado y publicado el Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos, se han clasificado por la Superservicios en sistemas autorizados y sistemas no autorizados. Los sistemas autorizados son aquellos que cuentan con los permisos de carácter ambiental correspondiente a licencia ambiental (Decreto 1076 de

2015), Plan de Manejo Ambiental (para sitios existentes antes de la expedición de la Ley 99 de 1993) o acto administrativo mediante el cual permita la operación del sitio.

De acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020), los sitios se clasifican de acuerdo al sistema autorizado y no autorizado y teniendo en cuenta la clasificación de los sistemas de disposición final. A continuación, se definen los diferentes tipos de sitios de disposición final o alternativa de gestión de residuos sólidos en Colombia.

8.1.4.1. Sistemas autorizados

Relleno sanitario: Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Decreto 1077 de 2015).

Es importante mencionar que, para el presente informe se incluyeron las Plantas de Tratamiento de residuos sólidos dentro de esta clasificación, sin embargo, son estructuras que técnicamente operan diferente al relleno sanitario y debido a su popularización, es imperativo que sean definidos los elementos y criterios técnicos para la operación de estos sitios por el MVCT.

Celda de contingencia: El artículo 3 de la Resolución 1890 de 2011 la señala como una alternativa para la disposición final con que contaron los municipios que se acogieron a la Resolución 1390 de 2005 y sus modificaciones. Bajo este esquema, el municipio solicitaba a la autoridad ambiental competente que el sitio donde funcionó una celda transitoria pudiera ser incorporado dentro de un proyecto de construcción y operación de un relleno sanitario, como una alternativa dentro del Plan de Contingencias del sitio, en virtud de lo estipulado en la Resolución 1274 de 2006 (términos de referencia para la construcción de rellenos sanitarios) o aquella que la modifique o sustituya (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

8.1.4.2. Sistemas no autorizados

Celda transitoria: De acuerdo con el artículo 5 de la Resolución 1390 de 2005, eran celdas que inicialmente debían diseñarse y construirse “(...) para una capacidad de disposición equivalente a la generación de residuos sólidos correspondiente a un período de hasta treinta y seis (36) meses,

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 64

al vencimiento del cual, no se podrá disponer más residuos sólidos en dichas celdas”. Este plazo fue ampliado por 3 años, tras la expedición de las Resoluciones 1684 de 2008, 1822 de 2009, 1529 de 2010 y 1890 de 2011. Su objetivo era permitir a los municipios una era suministrar un instrumento de manera momentánea, con el fin de facilitar la adecuada disposición final de residuos, en tanto lograban incluir en su gestión integral la disposición final en rellenos sanitarios licenciados por la autoridad ambiental competente, acorde con las políticas expedidas por el Gobierno Nacional (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Botadero a cielo abierto: Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las normas vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general (Resolución 1045 de 2003).

En cuanto al aprovechamiento de residuos en Colombia, se registran una serie de alternativas ambientalmente sostenibles que permiten realizar el tratamiento de residuos sólidos generados en algunos municipio y ciudades del país.

Compostaje: De acuerdo a la investigación de Méndez y Kramer (2021), identificaron una serie de empresas públicas y privadas dedicadas mediante de tecnologías de tratamientos descritas en la tabla 3.

Tabla 3. Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos en Colombia

Tecnología	Proceso
Compostaje en pilas con volteo manual	Descomposición de la materia orgánica por microorganismos en condiciones aerobias, llevada a cabo en montículos de RSO bajo condiciones controladas y cuyos requerimientos de oxígeno son alcanzados mezclando las pilas frecuentemente.
Compostaje en pilas con aireación forzada	Proceso similar al compostaje en pilas con volteo manual, cuya diferencia radica en que el oxígeno requerido es inyectado mecánicamente.
Compostaje cerrado o "In vessel"	Proceso de compostaje (degradación de la materia orgánica en condiciones aerobias) realizado en reactores cerrados en condiciones controladas.
Tratamiento Mecánico Biológico	Combinación de tratamientos físicos con tratamientos biológicos para el aprovechamiento de la fracción inorgánica y orgánica respectivamente de los residuos sólidos. Esta tecnología es priorizada sobre las demás en el mecanismo de selección del MTD, dado los lineamientos del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial adoptado mediante la Resolución 431 de 2020.
Digestión Anaerobia	Descomposición de la materia orgánica por microorganismos en condiciones anaerobias, la cual genera biogás que puede ser aprovechado energéticamente. Este proceso es llevado a cabo en reactores cerrados en condiciones controladas.

Nota: Fuente (Méndez y Kramer.2021).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 65

Incineración: de acuerdo al informe de Torres (2021) a través de la Alianza Global para Alternativas a la Incineración, se cuenta con la Planta de RSU, el cual se encuentra instalada en el relleno Magic Garden del Archipiélago de San Andrés Y Providencia, está compuesta por un sistema de recolección de residuos con máquina de pulpo, banda transportadora para conducción de los residuos a 2 cámaras de combustión rotativas a 850°C. Posteriormente, los gases pasan al sistema de calderas para generar el vapor que pasa por las turbinas de generación eléctrica. Finalmente, los gases pasan por 2 reactores de enfriamiento y filtros de manga. La capacidad receptiva de residuos es de 52,5 ton/día con los cuales se esperaba generar 1,2 MW4.

Según ese informe, Hasta el Año 2021 la planta no se había puesto en funcionamiento debido a que los residuos necesitan la separación y preparación previa al ingreso al horno incinerador. La separación incluye la retirada de materiales cerámicos como el vidrio, de metales ferrosos y no ferrosos, que no se alcanzan a degradar en las temperaturas de combustión de 850°C, y de elementos de PVC que liberan dioxinas y furanos. El tamaño de los materiales no debe exceder 5 cm de diámetro, por lo tanto, los residuos necesitan ser triturados, disminuyendo su tamaño para incrementar el área de contacto, garantizar la combustión completa y evitar el deterioro de la estructura interna de la cámara de combustión rotativa. Además, la humedad de la mezcla debe ser controlada y mantenida en niveles por debajo de 20% para garantizar que el poder calorífico de los residuos esté de acuerdo con los parámetros mínimos de operación del horno incinerador.

8.2. Descripción de las políticas públicas y marco regulatorio vigente en el manejo de residuos sólidos municipales establecidos en Colombia para contribuir en la disminución de la contaminación ambiental.

Colombia ha tenido grandes avances en la gestión tradicional de los residuos sólidos y en el servicio público de aseo en todo el país, ya que la mayoría de sus municipios cuentan con un sitio adecuado de disposición final de los residuos, esto se evidencia en el desarrollo de diferentes políticas públicas, lo cual llevo a tener mayores coberturas urbanas, cierre de botaderos a cielo abierto y calidad en la disposición; conduciendo a un enfoque de manejo de economía circular, ya que la economía lineal se hace cada vez más insostenible como por ejemplo llevando a los rellenos sanitarios al desbordamiento de la capacidad física; y de ahí la importancia de tener avances en la prestación del servicio de aseo (CONPES, 2016).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 66

Por lo anterior se hace un análisis a través del tiempo de la gestión de residuos sólidos en Colombia desde la normativa comenzando por el Decreto-Ley 2811 de 1974, el cual ya hacía referencia a la preservación y manejo de los recursos naturales como a la protección del medio ambiente, pero también menciona cuales serían los métodos a tener en cuenta para el tratamiento, recolección depósito y disposición final de los residuos; posterior surge la Ley 9 de 1979, la cual establece normas sanitarias, pero a su vez regula el control de la descarga de residuos sólidos que pudieran afectar las condiciones sanitarias del ambiente, fortaleciéndose así estas normas con lo dicho en la Constitución Nacional de Colombia de 1991 donde “todas las personas tiene derecho a gozar de un ambiente sano”; más adelante nace la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio de Ambiente para la gestión y conservación del medio ambiente y sus recursos naturales, y además hace alusión en establecer mecanismos para la descontaminación, reciclaje y reutilización de residuos.

Si bien, se puede observar que la gestión de los residuos sólidos desde entonces ha tenido una articulación con el medio ambiente, donde se pretende llegar a una economía circular, la cual busca el valor de los productos y materiales, permitiendo que estos se mantengan en el mayor ciclo productivo (CONPES, 2016).

8.2.1. Servicio público de aseo.

Continuando con el análisis de la gestión de los residuos sólidos en Colombia, se evidencia que en gestión de los residuos sólidos a nivel municipal, los cuales están incluidos en los servicios públicos de aseo, también ha tenido un logro significativo en avance normativo empezando desde la Ley 142 de 1994, la cual fue creada para la regulación de los servicios públicos domiciliarios, involucrando a las empresas prestadoras de dicho servicio con el fin de asegurar un trabajo eficiente como lo es una oportuna recogida de los residuos sólidos, complementándose dicha actividad con lo estipulado en el Decreto 838 de 2005, donde hace mención a la disposición final de los residuos sólidos, sus procedimientos, restricciones para localización de área como por ejemplo se debe tener en cuenta áreas prohibidas para construcción de rellenos sanitarios, fuentes superficiales y subterráneas, fallas geológicas, etc. Fortaleciendo el servicio público de aseo con el Decreto 2981 de 2013, ya que indica como debe ser la calidad del servicio, su continuidad, responsabilidades en el manejo de residuos sólidos, cobertura y demás.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 67

Haciendo énfasis en el Decreto 596 de 2016, por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo concerniente al aprovechamiento del servicio público de aseo, además este decreto indica la obligación de los usuarios presentar los residuos separados para ser aprovechados y entregados a las personas encargadas de la recolección, como también incluir una ruta para recogida de los residuos aprovechables y mientras estén circulando en los vehículos no pueden dejar residuos sólidos dispersos en las vías, adicional contar con planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), entre otros. Dichos decretos se encuentran hoy todos compilados en el Título 2 del Decreto 1077 de 2015.

Adicional a lo mencionado, se crean otras normativas para fortalecer el sistema de servicio público de aseo como lo presenta la Resolución 0330 de 2017, la cual acoge el reglamento técnico, indicando los parámetros y procedimientos mínimos obligatorios para el sector agua, como también hace mención a los sistemas de disposición final de los residuos sólidos en cuanto a los requerimientos que debe tener un proyecto generador de residuos, los planes a incluir como el manejo integral de los desechos sólidos, sistemas de aseo urbano y requisitos que debe cumplir las actividades de recogida y contar con sistemas de aprovechamiento teniendo presente los diseños y especificaciones citados en la resolución, así como el control y diseño para plantas de incineración de residuos al igual que para rellenos sanitarios.

Luego en el mismo año se da origen a la Ley 632 de 2000, la cual modifica parcialmente la ley 142 en su artículo, haciendo énfasis en el estricto cumplimiento de esta ley 632 de 2000 a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos, en cuanto a lo que compete del servicio público de aseo.

Por otra parte, surge la Ley 689 de 2001, la cual modifica los numerales 15 y 24 del artículo 14 de la Ley 142, en resumen, esta ley aplicara a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos; también hace mención a los contratos especiales para la gestión de los servicios públicos, su liquidación, control y cumplimiento de los servicios públicos domiciliarios.

Complementando lo referente al servicio público de aseo, se da lugar a la Resolución 151 de 2001, creada para la regulación integral de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo y actividades complementarias; por otro lado menciona el cargo por unidad de

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 68

consumo, contratos de servicios públicos domiciliarios de condiciones uniformes, adjunta el anexo para la realización de aforos de residuos sólidos a los usuarios como grandes productores, y para agregar se cita el Decreto 1713 de 2002 Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos; en donde el Decreto 1713 de 2002 está haciendo alusión en la responsabilidad de manejo de residuos sólidos, cobertura, prestación de servicios en zonas marginadas y un aspecto muy importante es que de presentar el Contenido básico del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).

Para terminar el avance normativo en cuanto al servicio público de aseo, se menciona la Resolución 720 de 2015, quien establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas; por otro lado la Resolución 779 de 2016, aplica a las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte de residuos no aprovechables y a las personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento, como también hace mención en su párrafo 1, donde los entes territoriales deberán contar con los recursos para financiar las campañas educativas a su cargo de acuerdo con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

por último se cuenta con el Decreto 2412 de 2018, Regula la ley 1753 de 2015, en cuanto al incentivo al aprovechamiento de residuos, el cual dicho cobro del incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos (IAT) se implementará en todos los municipios y distritos, en los cuales en su Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) adoptado en cumplimiento de la normatividad vigente se hayan definido proyectos de aprovechamiento viables, el cual se calcula según el Artículo 2.3.2.7.3. El valor del Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (VIAT) por tonelada de residuos sólidos no aprovechables dispuestos en relleno sanitario, se calculará sobre las toneladas de estos residuos por suscriptor del servicio público de aseo, como un valor adicional al costo de disposición final de estos residuos.

8.2.2. Residuos de construcción y demolición (RCD).

Normativamente los RCD están amparados primeramente y específicamente mediante la Resolución 541 de 1994, con la cual se empezó a dar control a los residuos como escombros,

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 69

resultantes de las actividades de construcción, excavación, demolición o de mejoras locativas de obras civiles o de otras actividades conexas que generen dichos residuos, así mismo como la regulación en el transporte y disposición final y hasta sanción por incumplimiento de la norma; pero más adelante llega la Resolución 472 de 2017, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones como tener un programa de manejo ambiental de materiales y elementos, el cual ya se exigía la Resolución 541 de 1994, contar con estrategias de reciclaje, reutilización, recolección y transporte, sitios de disposición final, además menciona las obligaciones de los municipios como el de ajustar los RCD al plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).

8.2.3. Biosólidos

El Decreto 1287 de 2014, dio a conocer los criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, pero adicional menciona que los biosólidos que no cumplan con los valores máximos permisibles citados en dicho decreto, podrán usarse en la operación de rellenos sanitarios como cobertura diaria, en la disposición conjunta con residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y de manera independiente en sitios autorizados.

8.2.4. Residuos sólidos en planificación territorial

Se tiene el Decreto 1077 de 2015, *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, y a su vez dentro del **proceso de planificación territorial etapas, en su etapa de diagnóstico en la dimensión funcional indica que se debe contar con una infraestructura** disponible para el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos y los equipamientos intermedios (estaciones de transferencia, centros de acopio y/o centros de aprovechamiento).*

En efecto al ordenamiento del suelo, el mismo Decreto 1077 de 2015, menciona que deberán señalarse las áreas para la realización de actividades referidas al manejo, tratamiento y/o disposición final de residuos sólidos o líquidos, tales como rellenos sanitarios, estaciones de transferencia, plantas incineradoras de residuos, plantas de tratamiento de aguas residuales, y/o estaciones de bombeo necesarias para resolver los requerimientos propios de uno o varios municipios y que se definan de conformidad con la normativa vigente; y adicional se encuentra el

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 70

Decreto 1076 de 2015, quien incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición, como también hace referencia a la gestión de residuos sólidos, tratamientos, ejecución de trabajo, y codificación de las infracciones.

8.2.5. Uso racional de bolsas plásticas y residuos de alimentos.

Por otro lado en el año 2019 tenemos la Resolución 2184 de 2019, la cual modifica la Resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas, y define el nuevo código de colores para clasificación en la fuente de los residuos y adicional dicta disposiciones sobre el programa de uso racional de bolsas plásticas; por otra parte está la Ley 1990 de 2019, la cual crea la política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos y se menciona los procesos para aprovechamiento de residuos orgánicos y/o energías renovables, como también formular propuestas para proyectos innovadores con el propósito a limitar los residuos, y por último realizar actividades de vigilancia de los excedentes y residuos de alimentos

8.2.6. Política de crecimiento verde

Desde el año 2016 se trabaja en Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, a través del documento CONPES 3874, que propone avanzar hacia una economía circular y mediante el documento CONPES 3934 de 2018, donde se crea la política de crecimiento verde y por el cual el país ha avanzado en la gestión de otras políticas y normas, como las recientes políticas de desarrollo productivo, de cambio climático, de gestión de residuos sólidos, entre otras.

Para el año 2019 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en coordinación con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio presentaron ante el Congreso de la República un proyecto de ley para la consolidación de la política para la gestión integral de residuos sólidos, en el marco de la implementación del documento CONPES 3874 de 2016, con un enfoque de transición hacia el modelo de economía circular.

8.2.7. Residuos sólidos durante la emergencia sanitaria COVID-19

Según Ramírez (2021), durante el confinamiento en el año 2020 cuando se presentó la emergencia sanitaria por el COVID-19, se evidencio una reducción importante en cuanto a la generación de residuos sólidos en sectores educativos, institucionales, comercial, servicios e industria, sin embargo el sector de alimentos tuvo un incremento de los residuos sólidos, aunque con el tiempo

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 71

los residuos domiciliarios estuvieron en aumento debido a que las personas permanecían más en sus casas, pero por otro lado los residuos hospitalarios, especialmente como tapabocas y guantes fueron los que mayor crecimiento tuvieron, aunque este sector tiene una recogida y tratamiento especial para dichos residuos.

Pero en el año 2021 y pese a la pandemia, surge la Resolución 777 de 2021, la cual contiene los parámetros para el protocolo de bioseguridad y a su vez emite las pautas para el manejo de los residuos de tapabocas y guantes. Por otro lado, en el mismo año a partir de enero empezó a regir en todo el país el nuevo código de colores (Resolución 2184 de 2019) de separación, el cual inicio con un proceso de educación, ya que este código está enfocado en una estrategia de economía circular con el fin de tener impacto en los hogares, empresas y sector público (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f).

Por último, la tabla 4 presenta el resumen de todas las normas citadas en los párrafos anteriores en un orden cronológico, con el fin de conocer el marco regulatorio que rige para la gestión de los residuos sólidos en Colombia tanto a nivel municipal y particular y conocer como ha sido su comportamiento a través del tiempo.

Tabla 4. Resumen marco normativo en gestión de residuos solidos

Título de la norma	Entidad que emite	Tipo de norma	Descripción
Decreto-Ley 2811 de 1974	Presidencia de la Republica	Legislación nacional de carácter general	En su título III. Indica las reglas para las diferentes etapas de la gestión integral de residuos. Priorizando el uso de los mejores métodos de acuerdo al desarrollo de la ciencia. Artículos 34, 35, 36 y 38.
Ley 9 de 1979	Ministerio de Salud	Legislación nacional de carácter general	Menciona las medidas regulatorias y legales para el control de emisión de residuos, lo referente a la gestión de residuos sólidos, artículos del 22 al 35.
Constitución Nacional de Colombia 1991	Congreso de la Republica	Legislación nacional de carácter general	Considerada la Constitución verde, menciona temas como el derecho a un medioambiente sano, y el deber del estado de protegerlo
Ley 99 de 1993	Congreso de la Republica	Legislación nacional de carácter general	Ley nacional ambiental de Colombia. Crea el ministerio de ambiente y organiza el sistema Nacional Ambiental SINA. Artículo 5. Funciones del ministerio del medio ambiente, numeral 32, promover el “reciclaje y reutilización de residuos”. Artículo 31. Funciones de las CAR’s, numeral 12, funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 72

Título de la norma	Entidad que emite	Tipo de norma	Descripción
			<p>Artículo 65. Funciones de los municipios y distritos, numeral 9, ejecutar programas de disposición, eliminación y reciclaje de residuos líquidos y sólidos y de control a las emisiones contaminantes del aire.</p> <p>Artículo 66. (Modificado por la Ley 1450 de 2011, artículo 214), competencias de grandes centros urbanos, municipios y distritos con las de un millón de habitantes, las autoridades municipales, distritales o metropolitanas tienen la responsabilidad hacer el control de vertimientos y emisiones contaminantes, disposición de desechos sólidos y residuos peligrosos.</p>
Ley 142 de 1994	Ministerio de Desarrollo Económico	Legislación de régimen tarifario	Instaura el régimen de los servicios públicos domiciliarios, incluye el servicio de aseo, que es de administración de los municipios.
Resolución 541 de 1994	Ministerio del Medio ambiente	Legislación sobre residuos sólidos	Controla la gestión de escombros (cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final en escombreras).
Ley 253 de 1996	Congreso de la República	Legislación que aprueba convenio internacional	Aprueba el convenio de Basilea (ONU, marzo de 1989), "sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos" (LEY 253 DE 1996)
Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Reglamento técnico	<p>Acoge el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico- RAS.</p> <p>Artículos 29, 30. Capítulo XVI Sobre sistemas de aseo urbano (artículos del 181 al 190)</p>
Ley 632 de 2000	Congreso de la República	Legislación de régimen tarifario	Modifica el artículo 1 de la ley 142 de 1994.
Ley 689 de 2001	Congreso de la República	Legislación de régimen tarifario	Modifica la ley 142 de 1994.
Resolución 151 de 2001	Comisión de Regulación Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)	Legislación de régimen tarifario	Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, alcantarillado y Aseo.
Decreto 1713 de 2002	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)	Legislación sobre servicio público de aseo	Reglamenta el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos ordinarios.
Decreto 838 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Legislación sobre servicio público de aseo	Modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre la disposición final de residuos sólidos. Define los lineamientos para disposición final de residuos sólidos, tecnologías de relleno sanitario.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 73

Título de la norma	Entidad que emite	Tipo de norma	Descripción
	(MAVDT)		
Decreto 1287 de 2014	Ministerio de vivienda, ciudad y territorio	Legislación sobre Gestión de residuos	Establece criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, y así mismo establece parámetros.
Resolución 720 de 2015	Comisión de Regulación Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)	Legislación de régimen tarifario	Presenta la regulación tarifaria para las personas prestadoras del servicio público de aseo, y la metodología para el cálculo de las tarifas de servicio público.
Decreto 1077 de 2015	Presidencia de la República	Decreto reglamentario único sectorial	Define que en el proceso de planificación territorial del país es necesario contemplar la infraestructura disponible para el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.
Decreto 1076 de 2015	Presidencia de la República	Decreto reglamentario único sectorial	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente y desarrollo sostenible.
Resolución 668 de 2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Normas de responsabilidad extendida del productor	Reglamenta el uso racional de bolsas plásticas, aplica a los distribuidores de bolsas plásticas.
Decreto 596 de 2016	Presidencia de la República	Legislación de régimen tarifario	Modifica el Decreto 1077 de 2015, con respecto al esquema de actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y régimen transitorio para la formalización.
Resolución 779 de 2016	Comisión de Regulación Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)	Legislación de régimen tarifario	Emite los porcentajes y la disposición de los valores obtenidos por el costo de comercialización de servicio CCS, entre personas prestadoras de servicio de recolección de residuos no aprovechables y personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento en el municipio o distrito.
Resolución 472 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Legislación sobre Gestión de residuos	Reglamenta la gestión integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición- RCD.
CONPES 3934 de 2018	Departamento Nacional de Planeación	Política Nacional	Política Nacional de crecimiento verde. Estrategia definir la hoja de ruta para la transición hacia una economía circular.
Decreto 2412 de 2018	Presidencia de la República	Legislación de régimen tarifario	Regula la ley 1753 de 2015, en cuanto al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos, dentro del servicio público de aseo. Se cobrará el valor del incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos, por tonelada de residuos sólidos no aprovechables dispuestos en relleno sanitario.
Resolución 2184 de 2019	Ministerio de Ambiente y Desarrollo	Legislación sobre separación en	Modifica la Resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas, y define el nuevo código de colores para

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 74

Título de la norma	Entidad que emite	Tipo de norma	Descripción
	Sostenible	la fuente	la clasificación en la fuente de los residuos, en el territorio nacional
Ley 1990 de 2019	Congreso de la Republica	Legislación nacional de carácter general	Crea la política para prevenir la perdida y el desperdicio de alimentos.

Nota: fuente elaboración propia.

Para resumir y tener un amplio panorama del proceso de la gestión de los residuos sólidos municipales en Colombia, se presenta la figura 9, la cual presenta la operación de tratamiento y disposición final de dichos residuos con su respectiva con base a la normativa colombiana

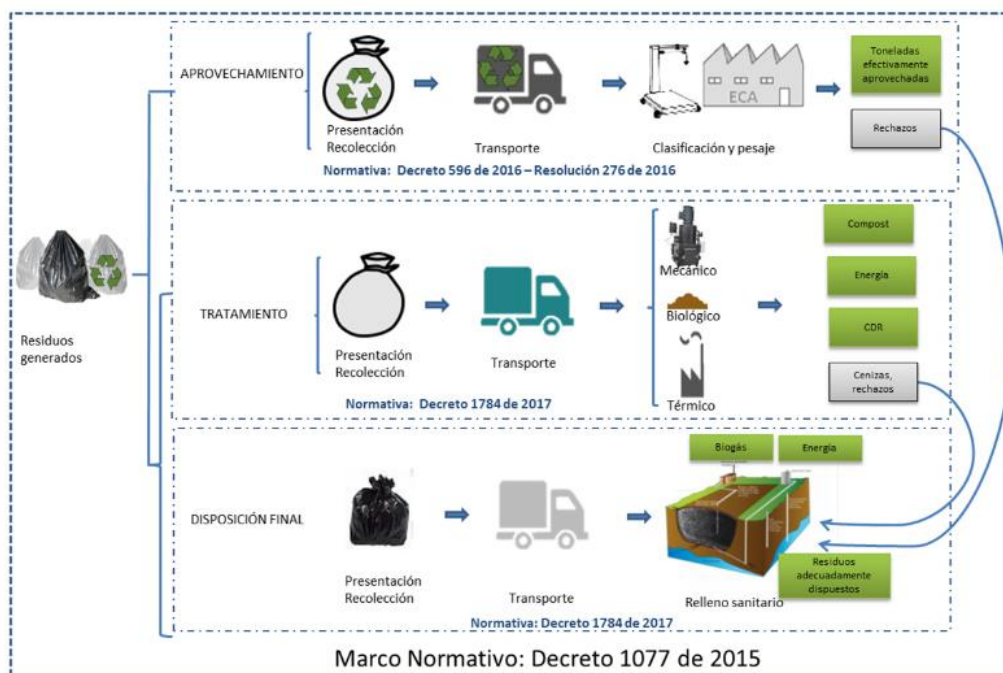


Fig 9. Aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

Nota: Fuente Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (s.f).

De acuerdo la ilustración anterior, el tratamiento es la actividad del servicio público de aseo, alternativa o complementaria a la disposición final, en la cual se propende por la obtención de beneficios ambientales, sanitarios o económicos, al procesar los residuos sólidos a través de operaciones y procesos mediante los cuales se modifican las características físicas, biológicas o químicas para potencializar su uso; y por último la disposición final, es la actividad del servicio

público de aseo, consistente en la disposición de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario (Artículo 2, numeral 66, Decreto 1784 de 2017).

8.3. Alternativas de manejo de los residuos sólidos desde la perspectiva de la economía circular para ser integrado en el plan de gestión de residuos sólidos del municipio de Tierralta.

8.3.1. *Composición del PGIRS del municipio de Tierralta*

El municipio de Tierralta actualmente cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, el cual, 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 la gestión de los residuos sólidos que se generen en cuyo territorio ya sea en el sector rural o urbano.

En virtud de lo anterior, se constituye como una herramienta fundamental que acoge el establecimiento de un modelo de prestación del servicio público de aseo, como quiera que éste se convierte en la hoja de ruta que define el modo y la forma de la prestación del servicio. Adicionalmente, debe mencionarse que mediante el PGIRS se desarrollan los mecanismos de gestión para los residuos que, por su naturaleza y características de residuos especiales, no son afectos al mencionado servicio público, sin considerar los residuos peligrosos que son excluidos del PGIRS. Por lo tanto, este instrumento presenta trece (13) programas, dieciocho (18) proyectos y aproximadamente treinta y cinco (35) actividades, enfocados a la gestión de los residuos sólidos municipales.

8.3.2. *Alternativa de manejo de RSU propuesto para el municipio de Tierralta.*

8.3.2.1. *Evaluación y selección de alternativa tecnológica de manejo de RSU.*

Se procura maximizar en el marco de la economía circular el aprovechamiento de los residuos sólidos generados municipio de Tierralta con el fin de establecer diferentes alternativas de gestión de residuos, que mejoren las condiciones de los habitantes y permita contribuir sosteniblemente a la prevención de la contaminación del medio ambiente.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 76

A continuación, además del análisis las diversas tecnologías existentes a gran escala en diferentes países del mundo y por comparación se escoge la mejor tecnología. El cual sería propuesta para ser integrada al municipio de Tierralta.

Teniendo en cuenta lo planteado por Arboleda (2009) y Reinoso (2011) metodológicamente se realizará la evaluación de las alternativas de manejo y se evaluarán los criterios propuestos a considerar por parte de los autores de la monografía y asesor que deben ser tenidos en cuentas mínimamente para escoger para evaluar las alternativas.

Dentro los criterios se destacan: beneficio ambiental, social y técnico – operativo; Cada uno de ellos presenta unos subcriterios bajo los cuales se evaluarán como se observa en la tabla 5

Tabla 5. Valoración para calificar los sub-criterios.

Muy optimo	5
Optimo	4
Aceptable	3
Inadecuado	2
Muy inadecuado	1

Nota: Fuente arboleda (2009) y Reinoso (2011)

A continuación, la tabla 6, presenta los resultados de la valoración, identificando las alternativas, valoración de cada una de ellas teniendo en cuenta los subcriterios y una ponderación que se estableció porcentualmente el grado de importancia a considerar.

Tabla 6. Valoración de las alternativas de manejo de residuos sólidos.

Criterios de Evaluación		Ponderación (%)	Alternativa de manejo de RSU						
			Vertedero semi-aeróbico	Compostaje	Pirólisis	Gasificación por plasma	Incineración	Planta de biogás	Rellenos Sanitarios y
Beneficios Ambientales	Reducción en los impactos negativos producidos por lixiviados y emisiones atmosféricas.	25%	2	2	4	5	3	3	1

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 77

Criterios de Evaluación		Ponderación (%)	Alternativa de manejo de RSU						
			Vertedero semi-aeróbico	Compostaje	Pirolisis	Gasificación por plasma	Incineración	Planta de biogás	Rellenos Sanitarios y Vertederos
	Reducción de uso de gas, energía o combustibles para la operación	25%	4	5	4	4	4	4	4
	Tecnología limpia y generación de combustibles no fósiles	25%	4	2	5	5	5	5	1
	utilización de grandes cantidades y diferentes tipos de residuos	25%	3	3	3	4	3	4	1
	Total	100%	3,25	3	4	4,5	3,75	4	1,75
Beneficios sociales	Previene afectaciones a la salud	35%	2	5	5	5	5	5	2
	Genera empleo	35%	3	4	4	4	4	4	3
	Aceptación de la tecnología	30%	2	4	4	4	2	5	1
	TOTAL	100%	2,35	4,35	4,35	4,35	3,75	4,65	2,05
Benéficos técnico-operativos	Generación de energía eléctrica o combustible para su aprovechamiento	20%	5	1	5	5	5	5	1
	Reutilización de los residuos, como materias primas en otros procesos productivos	30%	1	5	3	3	3	5	1
	Facilidad de instalación y operación	15%	2	4	2	2	2	3	2
	Accesibilidad a los componentes de la tecnología	10%	4	5	3	3	3	4	4
	Requerimiento de espacio reducidos para su montaje	20%	2	3	4	4	4	3	1
	Bajos costos de construcción y operación	5%	3	5	2	2	2	2	3
TOTAL		100%	1,25	1,95	1,5	1,5	1,5	1,55	1,05

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 78

8.3.2.2. Valoración final de las alternativas de manejo de residuos sólidos.

Tabla 7. Valoración de las alternativas de manejo de RSU.

Criterios de Evaluación	Ponderación (%)	Alternativa de manejo de RSU						
		Vertedero semi-aeróbico	Compostaje	Pirolisis	Gasificación por plasma	Incineración	Planta de biogás o digestión anaerobia	Rellenos Sanitarios y vertederos
Beneficios Ambientales	34%	3,25	3	4	4,5	3,75	4	1,75
Beneficios sociales	33%	2,35	4,35	4,35	4,35	3,75	4,65	2,05
Benéficos técnico-operativos	33%	1,25	1,95	1,5	1,5	1,5	1,55	1,05
Total	100%	2,29	3,10	3,29	3,46	3,01	3,41	1,62

De las alternativas evaluadas anteriormente las que obtuvieron el mayor puntaje son la gasificación por plasma y la planta de biogás o digestión anaerobia como tecnologías avanzadas para el tratamiento de residuos sólidos Urbanos. El municipio de Tierralta actualmente realiza disposición final en relleno sanitario, siendo este la tecnología convencional menos valorada en el estudio, lo que permite inferir la necesidad de buscar alternativas tecnológicamente más eficientes que permitan tener un manejo de los residuos de manera sostenible.

Por otro lado, se estable que la alternativa del Reciclaje, no se contó en la evaluación, debido a que se muestran evidencias de los avances en esta alternativa en el marco de la economía circular, a su vez la generación y formalización de empleo, es una garantía en el mejoramiento de la calidad ambiental y calidad de vida; el cual se propone, no solo de acuerdo a los avances evidenciados en el municipio de Tierralta, sino como a la alternativa pionera a nivel mundial global, para el manejo de residuos, se continúe el fortalecimiento del reciclaje en todo el territorio mundial.

En efecto, el municipio de Tierralta, requiere en gran manera, fortalecer e implementar las actividades del PGIRS Municipal, permitiendo apoderar a la comunidad en conocimientos básicos en técnicas de reciclaje, mediante la separación selectiva en la fuente, desarrollar campañas pedagógicas para crear conciencia ambiental y así a través de la recolección selectiva por los recicladores de oficios realizar las rutas de recolección; además de permitir un sistema de gestión

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 79

de residuos que incluya estímulos para sistemas alternativos de reuso. Por lo tanto, teniendo en cuenta las alternativas de manejos establecidas anteriores por los diferentes países alrededor del mundo y se debe lograr la necesidad de integrar alternativas sostenibles en el PGIRS del municipio de Tierralta.

IX. CONCLUSIONES

Se evidencia que en el ámbito internacional existe una estrecha relación por integrar los residuos sólidos municipales y los generados en distintos sectores económicos con la economía circular, y aunque hasta ahora no se podría decir que haya un país que tiene el total control de estos, muestran interés cada vez más en mitigar los impactos negativos causados al medio ambiente, lo cual lo hacen con la implementación de modelos actuales y la inclusión de políticas públicas y de esta forma cumplir con lo propuesto en la Agenda 2030; sin embargo el panorama de América Latina, no parece tener el mismo interés, ya que los porcentajes exponen un sistema de gestión muy tradicional como el caso de Colombia y que tanto en este país como algunos otros de América del Sur, tan solo cuentan con iniciativas de modelos actuales muy pocos y los cuales pertenecen a empresas particulares; en definitiva el camino más viable para los países es adoptar los principios de economía circular e integrarlos a las normas públicas con el propósito de llevar a los actores generadores de residuos sólidos hacia un cumplimiento que permita el crecimiento económico y sobre todo a la mejora del desempeño ambiental.

Colombia cuenta con un marco normativo bastante amplio para darle un adecuado manejo a los residuos sólidos, tanto a nivel municipal como en los diferentes sectores económicos, en donde pone de manifiesto el modelo de la economía circular como la estrategia más idónea en la gestión de dichos residuos con el fin de llevar al país a una transición de economía sostenible; sin embargo las brechas entre la generación de residuos y su aprovechamiento parece ser cada vez más grande, ya que las ciudades están en constante crecimiento lo que con lleva a un aumento de los residuos, por lo que es importante que el Gobierno Nacional cuente con una dinámica más efectiva que permita oportunamente el aprovechamiento o tratamiento de los residuos, porque de lo contrario en los próximos años podría dar lugar a una emergencia sanitaria

De las alternativas evaluadas para integrar al municipio de Tierralta, desde la gestión de residuos implementadas las que más impactan negativamente son las utilizadas tradicionalmente en la utilización de rellenos de rellenos sanitarios, mientras que la gasificación por plasma y las plantas de biogás o digestión anaerobia son las alternativas mejor evaluadas para integrar al municipio.

X. RECOMENDACIONES

Crear articulaciones directas de las autoridades ambientales con los fabricantes consumidores, productores, municipios, empresas, recicladores y gobierno para establecer un sistema que busque recuperar y recolectar los residuos reciclables como los envases.

Establecer estrategias que permitan educar a las comunidades tanto rurales como urbanas, a las empresas independientemente de su tamaño, para empezar a estimular el aprovechamiento de residuos sólidos a través del compostaje, la creación de nuevas materias primas, la generación nuevos productos o hasta la creación de empresas de reciclajes, ya que poner en práctica la economía circular se va haciendo gradual y por lo tanto requiere de educación y cultura ciudadana.

Generar espacios de participación comunitaria con la finalidad de que también presenten sus propuestas de cómo llevar a cabo la gestión de residuos sólidos para beneficio de todos los actores, pero sobre todo para el beneficio de los recursos naturales.

Contar con rellenos sanitarios controlados para disponer de los residuos que por última instancia no tuvo aprovechamiento, y en el caso que el municipio no cuente con suelos disponible para estos depósitos, deberá trabajar en conjunto con los demás municipios cercanos para evitar problemáticas ambientales.

Realizar análisis costo beneficios para futuras investigaciones de las alternativas propuestas, que permita analizar la rentabilidad, desde diferentes aspectos con el fin de evaluar si la implementación de estas tecnologías es financieramente eficiente, respecto al volumen de residuos a considerar para la operación y comercialización de los productos que se deriven; lo anterior a través de análisis de rentabilidad que calculan indicadores como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) entre otros.

REFERENCIAS

Alcaldía de Tierralta (2017-2029). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS del Municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba.

Alcaldía de Tierralta. 2011. Plan Básico de Ordenamiento Territorial Del Municipio de Tierralta. Tierralta, Córdoba.

Alcaldía de Tierralta. 2015. Plan de Desarrollo Ambiental Municipal Plan de Desarrollo Ambiental Municipal. Tierralta, Córdoba.

Almeida, M y Diaz, C. (2020). Circular Economy, a Strategy for Sustainable Development. *Advances in Ecuador. revista internacional de administración*, No. 8, p 35-57. ISSN: 2550-6641; e-ISSN: 2661-6531. DOI: <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>.

Arboleda Montaña, N. (2009). Programa de manejo integral de residuos sólidos en el parque nacional natural Gorgona, Cauca, Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Aristei, D y Gallo, M. (2021). El papel del apoyo externo en la implementación de acciones de eficiencia de recursos: evidencia de empresas manufactureras europeas. *Sustentabilidad*, 13 (17).

Asamblea General de la ONU, (2015). Asamblea general UN Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, 21 de octubre de 2015, A/RES/70/1. disponible en: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>.

Avfall Sverige (2017). Swedish Waste Management 2017. Recuperado de https://www.avfallsverige.se/fileadmin/user_upload/Publikationer/Avfallshantering_2017_eng_low.pdf

Bernat, K., Kulikowska, D., Wojnowska-Baryła, I., & Kamińska, A. (2022). Can the biological stage of a mechanical–biological treatment plant that is designed for mixed municipal solid waste be successfully utilized for effective composting of selectively collected biowaste?. *Waste Management*, 149, 291-301.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 83

Bijos, J. C., Zanta, V. M., Morató, J., Queiroz, L. M., & Oliveira-Esquerre, K. P. (2022). Improving circularity in municipal solid waste management through machine learning in Latin America and the Caribbean. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 28, 100740.

Bravo, R. O., & Martínez, R. O. (2021). Implementación de estrategias en economía circular para la gestión adecuada de residuos domésticos en comunidades de zonas de baja mar (barrio Miramar) Buenaventura. *Revista SEXTANTE*, 25, 29-43.

Breukers, L., Puentes, F. (2021). Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo Informe final - Reporte de conclusiones, recomendaciones y consideraciones regulatorias.

Cabrera, E. S. (2022). Bioenergy Alternatives of Urban Solid Waste: Overview in Mexico. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (31), 59-76.

Calderón, A., Wanda, E. (2020). Impulsores de la gestión de residuos hacia una economía circular en el sur global – El caso colombiano. *Gestión de residuos*, 110. file:///D:/Downloads/1-s2.0-S0956053X20302397-main%20(1).pdf

Carrier, M., Hardie, A. G., Uras, Ü., Görgens, J., & Knoetze, J. H. (2012). Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 96, 24-32.

Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), 11-20.

Cheng, H., Zhang, Y., Meng, A., & Li, Q. (2007). Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun city. *Environmental science & technology*, 41(21), 7509-7515.

Colorado, H. A., & Echeverri-Lopera, G. I. (2020). The solid waste in Colombia analyzed via gross domestic product: towards a sustainable economy. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (96), 51-63.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. (2021). Avances hacia una economía circular en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para lograr un estilo de

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 84

desarrollo más sostenible y bajo en carbono. <https://www.cepal.org/es/eventos/avances-economia-circular-america-latina-caribe-desafios-oportunidades-lograr-un-estilo>.

COMPES (2016). Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación. CONPES 3874. POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

CONPES. (2018). Política de crecimiento verde. <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/CONPES%203934%20-%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde.pdf>

Da Costa Pimenta, C. C. (2022). La Economía Circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, (35), 1-18.

DANE. (2020). Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales-residuos sólidos. Obtenido de Información para Todos: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2018p.pdf.

Dangond, S. (2019). Economía circular (EC), una herramienta para el logro de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) [Especialización en Planeación Ambiental y Manejo de Recursos Naturales]. Repositorio institucional Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/35782/DangondCarre%C3%B1oSilenaCarolina2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Déchaux, C., Nitschelm, L., Giard, L., Bioteau, T., Sessiecq, P., & Aissani, L. (2017). Development of the regionalised municipal solid waste incineration (RMWI) model and its application to France. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(10), 1514-1542

Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, mayo 26) Diario oficial número 49523. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 85

Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015, mayo 26) Diario oficial número 49523.

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=77216

Decreto 1287 de 2014. por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2014, julio 10). Diario Oficial 49208.

<https://minvivienda.gov.co/normativa/decreto-1287-2014>.

Decreto 1713 de 2002. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Presidencia de la república de Colombia. (2002, agosto 6). Diario Oficial Numero 44.893.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>

Decreto 1784 de 2017. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto número 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Diario oficial número 50405. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30034262>.

Decreto 2412 de 2018. Por el cual se adiciona el capítulo 7, al título 2, de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Presidencia de la república de Colombia. (2018, diciembre 24).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=89969>.

Decreto 351 de 2014. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Presidencia de la Republica. (2014, febrero 19). Diario Oficial 49.069. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0351_2014.htm.

Decreto 596 de 2016. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 86

para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016, abril 11) Diario oficial número 49841. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=69038>

Decreto 838 de 2005. por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2005, marzo 23) Diario oficial número 45.862. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=16123>

Decreto-Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Presidencia de la República de Colombia. (1974, diciembre 18) Diario oficial número 34243. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Departamento Nacional de Planeación y Banco Mundial. (2015). Estrategia Nacional de Infraestructura. Bogotá D.C.: Sector Residuos Sólidos.

Departamento Nacional de Planeación. (2016). Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsará en cinco años, advierte el DNP. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/-Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advierte-el-DNP-.aspx>

Departamento Nacional de Planeación. (2016). Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsará en cinco años, advierte el DNP

Diario la Piragua. (2017). El basurero Municipal (Loma Grande) no cumple especificaciones ambientales. Tomado de: <https://www.lapiragua.co/basurero-municipal-loma-grande-no-cumple-especificaciones-ambientales/>.

Domínguez, J. (2021). Antecedentes economía circular. Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia, sede de Bucaramanga. Editor: caf. <http://cdi.mecon.gov.ar/bases/docelec/az4041.pdf>

Ellen MacArthur Foundation. The Nature Imperative: How the circular economy tackles biodiversity loss (2021).

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 87

Espinoza-Quispe, C. E., Marrero-Saucedo, F. M., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2020). Solid Waste Management in the County of Huancavelica, Peru. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (28), 163-177.

European Environment Agency. (2016). Belgium - Material resource efficiency in Europe. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/more-from-less/belgium-material-resource-efficiency/view>

Eurostat, 2020. Municipal waste by waste management operations. Eurostat Stat Explain

Fernández-González, J. M., & Zamorano, M. (2017). Aplicación de tecnologías WtE en el tratamiento de los residuos municipales en España: una herramienta imprescindible en la implementación de la economía circular. In VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: Hacia una economía circular.

Flachenecker, F y Rentschler, j. (2018). Invertir en la eficiencia de los recursos: economía y política del financiamiento de la transición de los recursos. Springer International Publishing, Berlín/Heidelberg, Alemania.

Fundación Misión Ambiente (2016). Plan de cierre y clausura del antiguo botadero a cielo abierto del municipio de Tierralta departamento de Córdoba. Alcaldía de Tierralta- Córdoba.

GARABIZA, B. R., PRUDENTE, E. A., & QUINDE, K. N. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso.

Garcia-Garcia, G. (2022). Using Multi-Criteria Decision Making to optimise solid waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 100650.

Germany. (2012). Act Reorganising the Law on Closed Cycle Management and Waste, Federal Ministry for the environment, Naute Conservation, Nuclear Safety and Consumer Proteccion.

Ghatak, M. D., & Ghatak, A. (2018). Artificial neural network model to predict behavior of biogas production curve from mixed lignocellulosic co-substrates. *Fuel*, 232, 178-189.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 88

Gong, Y., & Whelton, J. (2019). In Conversation: Ellen MacArthur: From Linear to Circular. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 5(3), 247-256.

Gracia, A. & Ramírez, S. (2017). Diseñar una estrategia costo – eficiente para la eliminación de residuos sólidos dispuestos por la empresa Eurofarma Colombia s.a. en el relleno sanitario doña Juana [Trabajo de grado, Universidad Libre De Colombia]. Repositorio institucional Unilibre. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11173>.

Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. Books.

Guo, H. N., Wu, S. B., Tian, Y. J., Zhang, J., & Liu, H. T. (2021). Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology*, 319, 124114.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). R. Hernández Sampieri, Metodología de la investigación.

Higuchi, S. (2021). *Municipal Solid Waste Landfill Technology in Japan*. Springer.

Hoang, A. T., Varbanov, P. S., Nižetić, S., Sirohi, R., Pandey, A., Luque, R., & Ng, K. H. (2022). Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 131897.

Iacovidou, E., Velis, C. A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J. & Williams, P. T. (2017). Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 910-938.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.

Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, AK y Kumar, S. (2019). Aplicación de la evaluación del ciclo de vida en la gestión de residuos sólidos municipales: una revisión crítica mundial. *Revista de producción más limpia*, 209, 630-654.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 89

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.

Koehler A, Peyer F, Salzmann C, Saner D (2011) Probabilistic and technology-specific modeling of emissions from municipal solid-waste incineration. *Environ Sci Technol* 45:3487–3495

La República. (2019). Colombia podría aprovechar el 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano2813141#:~:text=Actualmente%20en%20Colombia%20se%20generanse%20recicla%20alrededor%20de%2017%25>.

Lausselet, C., Cherubini, F., del Alamo Serrano, G., Becidan, M., & Strømman, A. H. (2016). Life-cycle assessment of a Waste-to-Energy plant in central Norway: Current situation and effects of changes in waste fraction composition. *Waste management*, 58, 191-201.

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (1994, julio 11) Diario oficial número 41433. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

Ley 1990 de 2019. por medio de la cual se crea la política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos y se dictan otras disposiciones. El Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial 51.033. https://www.andi.com.co/Uploads/Ley-2019-N0001990_20190802.pdf.

LEY 2 DE 1959. Sobre Economía Forestal de la Nación y Conservación de Recursos Naturales Renovables. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. DIARIO N. 29861.

Ley 632 de 2000. por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142, 143 de 1994, 223 de 1995 y 286 de 1996. Congreso de la república. (2000, diciembre 29). Diario oficial número 52204. <https://servintegral.com.co/file/normatividad/Ley632de2000.PDF>

Ley 689 de 2001. Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994. Congreso de la república. (2001, agosto 28). Diario Oficial Numero 44.537. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4633>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 90

Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Congreso De Colombia. (1979, enero 24) Diario oficial número 35308.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (1993, diciembre 22). Diario Oficial Numero **41146**.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Lin, K., Zhao, Y., Kuo, J. H., Deng, H., Cui, F., Zhang, Z., ... & Wang, T. (2022). Toward smarter management and recovery of municipal solid waste: A critical review on deep learning approaches. *Journal of Cleaner Production*, 130943.

Lizarazo Delgado, J. P. (2017). Análisis de la gestión actual del manejo de los residuos sólidos del municipio de Lebrija–Santander. Universidad de Santander – UDES.

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

Martinez, A. N., & Porcelli, A. M. (2018). Study on the Circular Economy as a Sustainable Alternative to the Decline of the Traditional Economy (First Part). *LEX*, 301.

Medina-Mijangos, R., & Seguí-Amórtegui, L. (2021). Technical-economic analysis of a municipal solid waste energy recovery facility in Spain: A case study. *Waste Management*, 119, 254-266

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Hoy no se habla de basura, sino de residuos que son insumos para productos: Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/hoy-no-se-habla-de-basura-sino-de-residuos-que-son-insumos-para-productos-minambiente/>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 91

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f). nuevo código de colores. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/colombia-iniciara-el-2021-con-nuevo-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos/>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. (pp.20-21). Bogotá D.C., Colombia. Presidencia de la República.

Mulya, K. S., Zhou, J., Phuang, Z. X., Laner, D., & Woon, K. S. (2022). A systematic review of life cycle assessments of solid waste management: Methodological trends and prospects. *Science of The Total Environment*, 154903.

Munir, M. T., Mohaddespour, A., Nasr, A. T., & Carter, S. (2021). Municipal solid waste-to-energy processing for a circular economy in New Zealand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111080.

Munir, M. T., Mohaddespour, A., Nasr, A. T., & Carter, S. (2021). Municipal solid waste-to-energy processing for a circular economy in New Zealand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111080.

Naimi, Y., Saghir, M., Cherqaoui, A., & Chatre, B. (2017). Energetic recovery of biomass in the region of Rabat, Morocco. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(2), 1396-1402.

Namlis, KG y Komilis, D. (2019). Influencia de cuatro índices socioeconómicos y el impacto de la crisis económica en la generación de residuos sólidos en Europa. *Gestión de residuos*, 89, 190-200.

Neto, O. P. R. (2021). Impacts of a large-scale model of Municipal Solid Waste: An Input-Output analysis for the largest Brazilian metropolitan region. *Heliyon*, 7(5), e06776

ONU Noticias & Naciones Unidas. (2022). La población mundial llegará a 8000 millones en 2022. <https://www.un.org/es/desa-es/la-poblaci%C3%B3n-mundial-llegar%C3%A1-8000-millones-en-2022#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20llegar%C3%A1%20a%208000%20millones%20en%202022%20%7C%20Naciones%20Unidas>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 92

Organisation for Economic Co-operation and Development- OECD. (2015). Environment at a Glance 2015: OECD Indicators. doi: 10.1787/9789264235199

Ortega, A, T., Marín, D, F., Castro, N, E. (2022). Problemas de la Generación, Disposición y Tratamiento de los Residuos Sólidos en el Municipio de Quibdó, Colombia. Producción más limpia, 16 (2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552021000200179&lang=es#B16.

Ortiz., J. (2019). Modelos Empresariales de Economía Circular en PYMES de Cali. Universidad ICESI. Tesis de grado.

Pulgarin, Y. L., & Orozco, B. F. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. Cuaderno activa, 12(1), 119-134.

Ramírez, C. (2021). ¿Qué ha pasado con los residuos sólidos en medio de la pandemia por la covid-19? Comunicaciones Escuela Ambiental. Universidad de Antioquia.

Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0?—exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resources, Conservation and Recycling, 135, 246-264.

Reinosa Jaramillo, V. A. (2011). Evaluación de alternativas para el manejo de los residuos sólidos en el Municipio de Balboa Risaralda.

Ren, Y., Zhang, Z. y Huang, M. (2022). Una revisión sobre los modelos de asentamiento de los vertederos de residuos sólidos urbanos. Gestión de Residuos, 149, 79-95.

Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, junio 8) Diario oficial número 50.267. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 93

Resolución 0754 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. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014, noviembre 25) Diario oficial de Colombia. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/resolucion-754-de-2014.pdf>

Resolución 1045 de 2003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (20063 septiembre 26). Diario Oficial 45.329. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_1045_2003.htm

Resolución 1257 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y se adoptan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, noviembre 23). Diario oficial 51.867. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambienteds_1257_2021.htm.

Resolución 1274 de 2006. Por la cual se acogen los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de rellenos sanitarios y se adoptan otras determinaciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006, junio 30). Diario Oficial 46376. <https://emab.gov.co/wp-content/uploads/2018/11/RESOLUCION MAVDT 1274 de 2006.pdf>.

Resolución 1390 de 2005 Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003 que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005, septiembre 27). Diario Oficial 46.046. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-1390-2005>

Resolución 151 de 2001. Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2001, marzo 2). Diario Oficial Numero 44.344. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0151_2001.htm

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 94

Resolución 1684 de 2008. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1390 de 2005 y se toman otras determinaciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008, septiembre 25). Diario Oficial 47.127.

https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_1684_2008.htm.

Resolución 1822 de 2009. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1684 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009, septiembre 22). Diario Oficial 47.483

Resolución 1890 de 2011. Por la cual se enuncian alternativas para la disposición final de los residuos sólidos en los municipios y distritos que dieron aplicación a lo dispuesto en las Resoluciones 1390 de 2005, 1684 de 2008, 1822 de 2009 y 1529 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011, septiembre 23). Diario Oficial 48.205.

https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_1890_2011.htm.

Resolución 2184 de 2019. Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019, diciembre 26). Diario Oficial 51.179. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2184-de-2019.pdf>.

Resolución 2981 de 2013. por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2013, diciembre 20) Diario oficial número 49010. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1505864>

Resolución 472 de 2017. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones. (2017, febrero 28). Diario Oficial No. 50.166.

https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientesds_0472_2017.htm.

Resolución 541 de 1994. Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (1994, marzo 11).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=7037>

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 95

Resolución 720 de 2015. Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2015, julio 9). Diario Oficial Numero 49.569. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0720_2015.htm

Resolución 777 de 2021. Por medio de la cual se definen los criterios y condiciones para el desarrollo de las actividades económicas, sociales y del Estado y se adopta el protocolo de bioseguridad para la ejecución de estas. Ministerio de Salud y Protección Social. (2021, junio 2). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=163987#:~:text=El%20objeto%20de%20la%20presente,permita%20el%20desarrollo%20de%20estas.>

Resolución 779 de 2016. Por la cual se expiden los porcentajes de distribución del incremento en el costo de comercialización del servicio CCS, entre las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte de no aprovechables y las personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento, cuando se presta esta actividad en el municipio y/o distrito. (2016, diciembre 14).

Diario	Oficial	Numero	50.095.
--------	---------	--------	---------

https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0779_2016.htm

Resolución 938 de 2019. Por la cual se reglamenta el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020, enero 3) Diario oficial número 51185. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minviviendact_0938_2019.htm

Rivera Acosta, P., & Martínez Torres, R. E. (2021). Articulation of the Sustainable Development Goals with de circular economy paradigm. *Investigación y Desarrollo*, 29(1), 178-194.

Rozo, D, G. (2019). Estado del arte de la economía circular en Colombia [Trabajo de Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/15824>.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 96

Rozo, D. G. (2019). Estado del arte de la economía circular en Colombia [Trabajo de Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/15824>.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.

Samarasinghe, K. y Wijayatunga, P. (2022). Viabilidad tecnoeconómica y sostenibilidad ambiental de la conversión de residuos en energía en una economía circular: estudio de caso de Sri Lanka. *Energía para el Desarrollo Sostenible*, 68, 308-317.

Sánchez-Muñoz, M. D. P., Cruz-Cerón, J. G., & Maldonado-Espinel, P. C. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-336.

Sandoval, M. B. A. (2016). Incineración de la fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos. *Cumbres*, 2(2), 9-15.

Schmidt, S. (2021). Chile's Circular Economy Roadmap: collaboration for a shared action plan. Este estudio de caso es parte de una serie que ejemplifica elementos de los Objetivos Universales para Políticas de Economía Circular (2021) en la práctica. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/chiles-circular-economy-roadmap>.

Seguí, L., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). Gestión de residuos y economía circular. Recuperado de <https://cutt.ly/vyZgvJq>.

Segura, Á. M., Rojas, L. A., & Pulido, Y. A. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos.

Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Samal, B., Cheela, V. S., Dubey, B. K., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of The Total Environment*, 800, 149605.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 97

Swiss Federal Council. (2018). Environment Switzerland 2018. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/state/publications-on-the-state-of-the-environment/environment-switzerland-2018.html>

The Danish Government. (2015). Denmark without waste II. A waste prevention strategy. Recuperado de <https://eng.mst.dk/air-noise-waste/waste/denmark-without-waste-ii/>

Torres, F (2021). Estudio de caso San Andrés Colombia: 10 años de un incinerador sin estrenar y una isla que se desborda en residuos.

Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.

Unión Temporal para el Manejo de Ambiental de Antiguos Botaderos-MAAB (2021). y Plan de cierre, clausura y restauración ambiental del antiguo botadero a cielo abierto del municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba.

Valencia, T. (2020). Apoyo al grupo de economía circular en la creación de material documentado que sirve como suministro durante la implementación de la ENEC. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales Ingeniería ambiental Bogotá. Repositorio institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26115>.

Van Fan, Y., Klemeš, J. J., Walmsley, T. G., & Bertók, B. (2020). Implementing Circular Economy in municipal solid waste treatment system using P-graph. *Science of The Total Environment*, 701, 134652.

Van Fan, Y., Klemeš, JJ, Walmsley, TG y Bertók, B. (2020). Implementación de Economía Circular en el sistema de tratamiento de residuos sólidos municipales utilizando P-graph. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 701, 134652.

Vega, Q., Blanco, M., & Romero, H. (2017). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador.

Análisis de alternativas ambientales para el manejo de los residuos sólidos, a partir del modelo de economía circular en el municipio de Tierralta – Córdoba. 98

Vega-Quezada, C., Blanco, M., & Romero, H. (2017). Sinergias entre agricultura y bioenergía en países de América Latina: Una estrategia de economía circular para la producción de bioenergía en Ecuador. *Nueva biotecnología*, 39, 81-89.

Wang, W, J. & Usted, X, Y. (2020). Benefits analysis of classification of municipal solid waste based on system dynamics. *Journal of Cleaner Production* *Journal of Cleaner Production*, 279, 123686.

123686.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620337318?via%3Dihub>

Yafetto, L. (2022). Application of solid-state fermentation by microbial biotechnology for bioprocessing of agro-industrial wastes from 1970 to 2020: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, e09173.

Yolin, C. (2015). Waste management and recycling in Japan opportunities for European companies (SMEs focus). EU-Japan Center for Industrial Cooperation: Tokyo, Japan.

Zhong, J., Stevens, D. K., & Hansen, C. L. (2015). Optimization of anaerobic hydrogen and methane production from dairy processing waste using a two-stage digestion in induced bed reactors (IBR). *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(45), 15470-15476.

Ziamba, C., & Peccia, J. (2011). Net energy production associated with pathogen inactivation during mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge. *Water research*, 45(16), 4758-4768.